

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Geografie a kartografie



Tereza UHLÍKOVÁ

VÝRAZNÁ BLESKOVÁ AKTIVITA NAD ČESKOU REPUBLIKOU

SEVERE LIGHTNING ACTIVITY OVER THE CZECH REPUBLIC

Bakalářská práce

Vedoucí závěrečné práce/Školitel: RNDr. Petr Novák, Ph. D.

Praha, 2013

Zadání bakalářské práce

Název práce

Výrazná blesková aktivita nad Českou republikou

Cíle práce

Vytvořit úvod do studia bleskových výbojů v atmosféře, prezentovat současné možnosti jejich detekce a obecnou klimatologii. Pro dny s nejvýraznějšími úhrny blesků nad ČR představit vybrané meteorologické charakteristiky a jejich korelaci s bleskovou aktivitou.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Na základě literatury bude vytvořena rešerše geneze, typologie, detekce a klimatologie blesků. Z dat CELDN pro Českou republiku (poskytnuta ČHMÚ) za období 2002-2012 budou vybrány dny s nejvýraznější bleskovou aktivitou a budou určeny meteorologické charakteristiky těchto dní včetně vztahu vybraných charakteristik k intenzitě bleskové aktivity. Použité charakteristiky budou zjištěny z veřejně přístupné databáze aerologických sondáží University of Wyoming pro Prahu–Libuš a historických dat pro ČR Českého hydrometeorologického ústavu.

Datum zadání: 11. 1. 2013

Jméno studenta: Tereza Uhlíková

Podpis studenta:.....

Jméno vedoucího práce: RNDr. Petr Novák, Ph.D.

Podpis vedoucího práce:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 17. 5. 2013

.....
Tereza UHLÍKOVÁ

Poděkování

Děkuji panu RNDr. Petru Novákovi, Ph. D., vedoucímu této bakalářské práce, za předání cenných znalostí, velmi přívětivý přístup a připomínky, které mi poskytoval po dobu jejího vypracovávání. Dále děkuji panu RNDr. Miloslavu Müllerovi, Ph. D. za cenné konzultace a doporučení vedoucího této práce.

Abstrakt

Práce představuje úvod do studia bleskových výbojů a prezentuje data o denních úhrnech blesků nad Českou republikou (ČR) v období 2002-2012. Dále pro dny s výraznou bleskovou aktivitou zmíněného období analyzuje vybrané meteorologické charakteristiky.

Je představena geneze bleskových výbojů a současné možnosti jejich detekce pomocí pozemních systémů a senzorů na družicích. Hlavní výhodou pozemních systémů je přesnost lokalizace výboje <1 km a doplňkové informace, které mohou o každém detekovaném výboji poskytnout (polarita, velikost elektrického proudu v bleskovém kanálu). Předností družicové detekce blesků je současné pokrytí velké oblasti, které umožňuje globální pohled na bleskovou aktivitu nad Zemí. Dále je prezentována obecná klimatologie blesků ve světě. Je poukázáno na zřetelný kontrast výskytu blesků mezi pevninou a oceánem, kdy nad pevninou je výskyt až o dva řády vyšší. Také je představeno světové maximum úhrnu blesků nad rovníkovou Afrikou a teorie vysvětlující zmíněné prostorové rozmístění a maximum. Rovněž jsou uvedeny vybrané klimatologické charakteristiky blesků některých států Evropy.

V analytické části práce byly jednotlivé roky rozděleny na zimní (I.-III.+ X.-XII.) a letní půlrok (IV.-IX.). Zmíněné půlroky byly vytvořeny za účelem zahrnutí zimní bleskové aktivity do studie. V každém z těchto půlroků byly vybrány 2 % dní s nejvyšší bleskovou aktivitou. U vybraných dní byly zjištěny a analyzovány následující meteorologické charakteristiky: (1) typ povětrnostní situace, (2) přítomnost frontální oblasti, (3) hodnota CAPE pro 12UTC, (4) hodnota CIN pro 12UTC, (5) výška výstupné kondenzační hladiny pro 12UTC. Nejvýraznější vazba byla nalezena mezi bleskovou aktivitou a přechodem frontální oblasti. Ta byla v zimním půlroce zaznamenána u 80% vybraných dní, v letních dnech bylo frontální rozhraní přítomno v 61,5% případů. Zkoumání různých meteorologických charakteristik ovzduší ve vztahu s bleskovou aktivitou nad ČR může být dobrým námětem pro další studie.

klíčová slova: blesk, výrazná blesková aktivita, detekce blesků, klimatologie blesků, Česká republika, CELDN

Abstract

This work comprises an introduction to study of lightning and presents data about daily amount of lightning flashes over the Czech Republic (CR) in period 2002-2012. For selected days in this period, there are introduced and examined some meteorological characteristics.

There are presented an evolution of lightning discharges and contemporary options for lightning detection which contain ground-based systems and satellites systems. Main advantage of ground-based systems are location accuracy <1 km and additional information which could be provided about every single stroke which is e. g. polarity or peak current. The benefit of satellite lightning detection is the large coverage which is useful for a global view of lightning activity on the Earth. After that, the general climatology of lightning in the world is introduced. The land-ocean contrast in lightning activity is presented (lightning activity over land is up to two orders higher than over the ocean). There is also information about maximum amount of flashes over equatorial Africa. The hypothesis explaining the land-ocean contrast in lightning activity and African maximum are included. Climatological characteristics of lightning in selected European countries are mentioned in the last section.

In analytical part of the work, single years were divided into two half-years to include winter lightning activity into the study. First of them is winter half-year (I.-III.+ X.-XII.), the second summer half-year (IV.-IX.). In both of them, 2 % of days with the highest amount of flashes over the CR were chosen. For selected days, specific meteorological characteristics were examined: (1) type of a weather situation, (2) presence of frontal zone (FZ), (3) CAPE at 12 UTC, (4) CIN at 12UTC, (5) height of the Lifted Condensation Level at 12UTC. The noticeable correlation was observed between lightning activity and the presence of FZ. There was 80 % of chosen days with severe lightning activity from winter half-year and 61,5 % from summer half-year with the presence of FZ. An investigation of several meteorological characteristics of the atmosphere in the relation to lightning activity over the CR could be a good subject for future studies.

key words: lightning, severe lightning activity, detection of lightning, climatology of lightning, Czech Republic, CELDN

Obsah

Seznam obrázků, tabulek, grafů a příloh	8
Seznam zkratek	9
Seznam anglických termínů	10
1 Úvod	11
2 Blesk	12
2. 1 Geneze výboje	13
2. 2 Charakteristiky blesků.....	14
2. 3 Typologie výbojů.....	15
3 Detekce a lokalizace bleskových výbojů	17
3. 1 Pozemní detekce.....	17
3. 1. 1 Detekce pomocí jednoho senzoru.....	17
3. 1. 2 Síťová detekce.....	17
3. 2 Detekce senzory na družicích.....	20
4 Obecná klimatologie blesků	22
4. 1 Všeobecné charakteristiky výskytu blesků	22
4. 2 Výskyt bleskových výbojů nad Evropou	26
5 Výrazná blesková aktivita nad ČR.....	28
5. 1 Data a metodika	28
5. 2 Výsledky práce	31
5. 2. 1 Blesková aktivita nad ČR v období 2002-2012.....	31
5. 2. 2 Dny s výraznou bleskovou aktivitou nad ČR v období 2002-2012.....	33
6 Diskuse výsledků a závěr	40
Literatura	42
Přílohy.....	48

Seznam obrázků, tabulek, grafů a příloh

1 Obrázky

Obr. 1: Geneze výboje	15
Obr. 2: Typy výbojů	16
Obr. 3: Frekvenční intervaly senzorů	19
Obr. 4: Globální úhrny srážek a blesků za období 1998-2011/2012 (data z družice TRMM)	23
Obr. 5: Místní čas maximálního úhrnu blesků	25
Obr. 6: Měsíční úhrny blesků nad Českou republikou v porovnání se zaznamenanými bouřemi v období 1999-2008	29

2 Tabulky

Tabulka 1: Vybrané dny s výraznou bleskovou aktivitou v zimním půlroce	35
Tabulka 2: Vybrané dny s výraznou bleskovou aktivitou v letním půlroce	36

3 Grafy

Graf 1: Blesky nad ČR v zimním půlroce (I.-III.+X.-XII.) v období 2002-2012	32
Graf 2: Blesky nad ČR v letním půlroce (IV.-IX.) v období 2002-2012	32
Graf 3: CAPE a CIN ve dnech s výraznou bleskovou aktivitou, zimní půlrok	37
Graf 4: CAPE a CIN ve dnech s výraznou bleskovou aktivitou, letní půlrok	38
Graf 5: Výška základny oblaku ve vybraných dnech, zimní půlrok	39
Graf 6: Výška základny oblaku ve vybraných dnech, letní půlrok	39

4 Přílohy

Příloha 1: Blesková aktivita nad Českou republikou v letech 2002-2012	48
---	----

Seznam zkratek

ALDIS	Austrian Lightning Detection and Information System, rakouská detekční síť
BLIDS	der Blitz Informationsdienst von Siemens, německá detekční síť
CAPE	Convective Available Potential Energy, kladná energie instability
CBH	Cloud Base Height, výška základny oblaku
CELDN	Central European Lightning Detection Network, středoevropská detekční síť (zahrnuje detekční sítě Německa a Rakouska a senzory České republiky, Polska, Slovenska a Maďarska)
CIN	Convective Inhibition, záporná energie instability
CG	cloud-to-ground, výboj mezi oblakem a zemí
DF	direction finding, metoda detekce elektrického výboje
DV	dlouhé vlny (λ 1-10 m), angl. LF (low frequency)
EUCLID	European Cooperation for Lightning Detection, evropská spolupráce pro sdílení a poskytování dat z detekce výbojů (blesků)
HVK	hladina volné konvekce
IC	inter-cloud, oblačný výboj, který nezahrnuje kontakt se zemí
LIS	Lightning Imaging Sensor, senzor užívaný pro detekci blesků z oběžné dráhy
NLDN	National Lightning Detection Network, americká národní detekční síť
OTD	Optical Transcient Detektor, senzor užívaný pro detekci blesků z oběžné dráhy
TOA	time of arrival, metoda detekce elektrického výboje
VDV	velmi dlouhé vlny (λ 1-10 km), angl. VLF (very low frequency)
VKH	výstupná kondenzační hladina, angl. Lifted Condensation Level, aproximace základny oblaku
VKV	velmi krátké vlny (λ 0,1-1 km), angl. VHF (very high frequency)

Seznam anglických termínů

cloud base height	výška základny oblaku
cloud-to-air discharge	výboj mezi oblakem a vzduchem
cloud-to-ground discharge	výboj mezi oblakem a zemí
dart leader	subsekventní výboj v kanálu ionizovaného vzduchu, který vytvořil stepped leader (viz dále)
downdraft	sestupný proud suchého chladného vzduchu v obla
downward stepped leader	první výboj (v české literatuře nazýván také vůdčí výboj)
final jump	spojení vůdčího výboje od oblaku se vstřícným výbojem od země
flash	blesk (skupina výbojů spojena podle určitého algoritmu)
gust front	gust fronta – rozhraní při povrchu země mezi chladným vzduchem vytékajícím z bouře a okolním vzduchem
intra-cloud discharge	výboj v rámci jednoho oblaku
inter-cloud discharge	výboj mezi dvěma oblaky (v literatuře rovněž uváděn jako cloud-to-cloud)
preliminary breakdown	prvotní impuls v tvorbě elektrického výboje (porucha)
recoil streamer	opakované oblačné výboje
return stroke	zpětný výboj
stroke	elektrický výboj
updraft	výstupný proud vlhkého teplého vzduchu v oblaku
upward-moving discharge	vstřícný výboj, výboj od země směrem vzhůru

1 Úvod

Představení problematiky

Blesk je silný elektrostatický výboj v atmosféře doprovázený výraznými optickými, zvukovými, elektromagnetickými a tepelnými projevy. Je to nebezpečný atmosférický jev, který může zapříčinit rozsáhlé škody na majetku i zdraví osob, v přírodě je nejběžnějším původcem požárů. Slouží rovněž jako indikátor výrazné konvektivní aktivity v oblaku spojené s dalšími nebezpečnými jevy, jako je krupobití nebo nárazový vítr. Kromě toho je i významným přirozeným zdrojem oxidů dusíku; představuje zhruba 10% příspěvek celkovému objemu v atmosféře (Finke, Kreyer, 2002), (Hall, Brown, 2006), (Řezáčová et al., 2007). Prostorové rozmístění výrazné bleskové aktivity ať už v České republice nebo ve světě závisí na mnoha faktorech, které jsou v současné době podrobeny zkoumání. Stejně tak ohledně vzniku bleskových výbojů panují nejistoty, které mohou být dalším předmětem studia.

Cíle práce

Cílem práce je vytvořit úvod do studia bleskových výbojů v atmosféře, prezentovat současné možnosti jejich detekce a obecnou klimatologii. Pro dny s nejvýraznějšími úhrny blesků nad Českou republikou představit vybrané meteorologické charakteristiky a jejich korelaci s bleskovou aktivitou.

Struktura práce

Práce je rozdělena do šesti hlavních kapitol. Kapitoly 2 – 4 představují rešerši české a zahraniční literatury, Kapitola 5 prezentuje vlastní analýzu dat pro dny s výraznou bleskovou aktivitou nad Českou republikou.

Kapitola 2 charakterizuje oblaky a prostředí, ve kterých bleskové výboje vznikají; poté popisuje jednotlivé fáze geneze výboje, charakteristiky blesku a typologii. Třetí kapitola shrnuje současné možnosti detekce bleskových výbojů pomocí jednoho pozemního senzoru, sítě pozemních senzorů a družic. Čtvrtá kapitola představuje globální charakteristiky výskytu blesků, které byly vytvořeny na základě dat z družice Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). Jsou představeny různé teorie vysvětlující prostorové rozdělení bleskových výbojů ve světě. V závěru čtvrté kapitoly je shrnuta klimatologie bleskových výbojů ve vybraných státech Evropy. Kapitola 5 představuje data Central European Lightning Detection Network (CELDN) pro Českou republiku za období 2002-2012 a jejich vztah k vybraným meteorologickým charakteristikám.

2 Blesk

Bleskové výboje v atmosféře vznikají převážně v oblacích typu cumulonimbus, případně cumulus congestus, ve kterých se tvoří dostatečně silná centra elektrického náboje potřebná pro vznik výboje (desítky coulombů) (Bednář, 1989), (Řezáčová et al., 2007), (Strangeways, 2007). Cumulonimbus je oblak obsahující částice kapalné vody i ledu. Pro jeho vývoj jsou charakteristické nebezpečné atmosférické jevy jako blesková aktivita nebo krupobití. Obvyklý je i výskyt silného nárazovitého větru v přízemních hladinách (gust fronta, angl. *gust front*). Základna leží obvykle ve výšce 600 – 1500 m. Vertikální rozsah cumulonimbu může přesahovat i horní hranici troposféry. Pro více charakteristik cumulonimbu viz Řezáčová et al. (2007).

Zajac a Weaver (2002) uvádějí čtyři fáze cumulonimbu, které hrají roli v genezi elektrických výbojů. První fází je mělký cumulus, ve kterém panují slabé výstupné proudy teplého vlhkého vzduchu (angl. *updraft*) avšak žádné kompenzační sestupné proudy (angl. *downdraft*). Následující fází je vysoký cumulus se silným výstupným proudem a slabým sestupným proudem suchého chladného vzduchu ze středních poloh oblaku. V této fázi začínají procesy potřebné k vytvoření elektrického výboje (viz Kapitulu 2. 1). Třetí fází bouřkového oblaku je vyvinutý cumulonimbus, ve kterém panuje silný výstupný proud a silný sestupný proud, který se může u zemského povrchu projevit jako silný nárazový vítr (gust fronta). Pro fázi vyvinutého cumulonimbu jsou typické elektrické výboje. Rozpadající se cumulonimbus je poslední fází vývoje tohoto druhu oblaku, mohou se ještě vyskytnout elektrické výboje, výstupné a sestupné proudy jsou však již slabé a oblak se rozpadá.

K vývoji konvektivní oblačnosti je zapotřebí třech základních podmínek. (1) První z nich je iniciační proces, který zajistí vyzvednutí vzduchové masy (částice) z přízemní vrstvy atmosféry do hladiny volné konvekce. (2) Tato vzduchová masa musí z přízemních hladin atmosféry vynášet směrem vzhůru dostatečnou vlhkost, aby mohlo dojít k tvorbě oblaku. (3) Zároveň musí být teplotní zvrstvení troposféry od hladiny nasycení dané částice instabilní, aby toto okolí podporovalo další zrychlení částice směrem vzhůru. Podnětů, které iniciují výstupné pohyby vzduchu existuje několik typů. (1) V horkém počasí, které je typické pro letní období, zajišťuje první impuls obvykle termická konvekce (vliv vztlaču). Vztlačková síla působí směrem vzhůru na těleso (v tomto případě vzdušnou masu), jehož hustota je nižší než hustota jeho okolí. Za horkých dnů se horizontálně omezená vrstva atmosféry přiléhající k zemskému povrchu prohřívá více než vzdušná masa nad ní a tato prohřátá vrstva (s nižší hustotou) pak vlivem vztlaču začne vystupovat nahoru, kompenzována sestupnými pohyby okolního vzduchu. Tento mechanismus nebývá obvykle uplatněn v zimních měsících,

protože nedochází k dostatečnému prohřívání zemského povrchu. (2) Významný výskyt výstupných proudů vzduchu je vázán na studené fronty, kdy frontální oblast (rozhraní mezi teplým a studeným vzduchem) vytlačuje teplejší vzduch prudce vzhůru. Tento mechanismus bývá ve velké míře uplatněn u vzniku zimních bouří, vyskytuje se však i při genezi bouří v teplejší polovině roku. (3) Dalším faktorem hrajícím roli v iniciaci výstupných pohybů je vliv reliéfu, který může tvořit překážku a nutí tak vzduch vystupovat vzhůru (vynucená konvekce). Tento mechanismus může ovlivňovat výstupné pohyby vzduchu v zimě i v létě. (4) Posledním mechanismem, který může být jedním z podnětů výstupných pohybů vzduchu je přízemní konvergence (sbíhání proudů vzduchu). Ta může být vyvolána brízovou cirkulací na pobřeží moří nebo se může vytvořit na okrajích sestupných proudů (gust fronty) již existující konvektivní oblačnosti. Pro další studium vzniku a vývoje konvektivní oblačnosti viz Řezáčová et al., 2007.

2. 1 Geneze výboje

Obecně rozšířený význam slova blesk se pojí především s optickými jevy doprovázejícími bleskové výboje v atmosféře. Americký meteorologický slovník jej také mimo jiné definuje takto: „Jeden blesk se obvykle skládá z mnoha jednotlivých svítivých výbojů, které se často vyskytují v tak rychlém sledu, že je lidské oko nedovede rozlišit.“ V zahraniční odborné literatuře obecně pojem blesk (angl. *flash*) zahrnuje několik výbojů (angl. *strokes*, *discharges*) o různém směru, velikosti elektrického proudu, teplotě (viditelnosti) a polaritě. Na následujících stranách práce je užit význam slova blesk a výboj v odborném slova smyslu.

Teorií vzniku center elektrického náboje v cumulonimbu je několik, roste však konsenzus, že při vzniku a počátečních fázích výboje jsou dominantním procesem srážky krystalků a krvinek v oblaku za přítomnosti přechlazených vodních kapiček (Saunders, 1993), (Rakov, Uman, 2003), (Zajac, Weaver, 2002). Během kontaktu se částice nabíjejí kladně či záporně. Větší částice mají tendenci se nabíjet záporně a menší kladně. Na všechny částice přitom působí jak výstupné proudy vzduchu, tak gravitace. Na větší částice působí větší gravitační síla a tyto částice proto klesají k základně oblaku. U menších částic převažují působící výstupné proudy vzduchu, které je vynášejí k horní hranici oblaku. Při základně oblaku se také v jeho pozdějších stádiích vývoje často tvoří podružné centrum kladného náboje.

Elektrický výboj je zahájen procesem označovaným anglickým termínem *preliminary breakdown*. Podle Rakova a Umana (2003, str. 111) „Neexistuje žádný konsenzus ohledně mechanismu tohoto procesu“, nejistotu ohledně prvotního impulsu bleskového výboje připouštějí i MacGorman a Rust (1998) a Strangeways (2007).

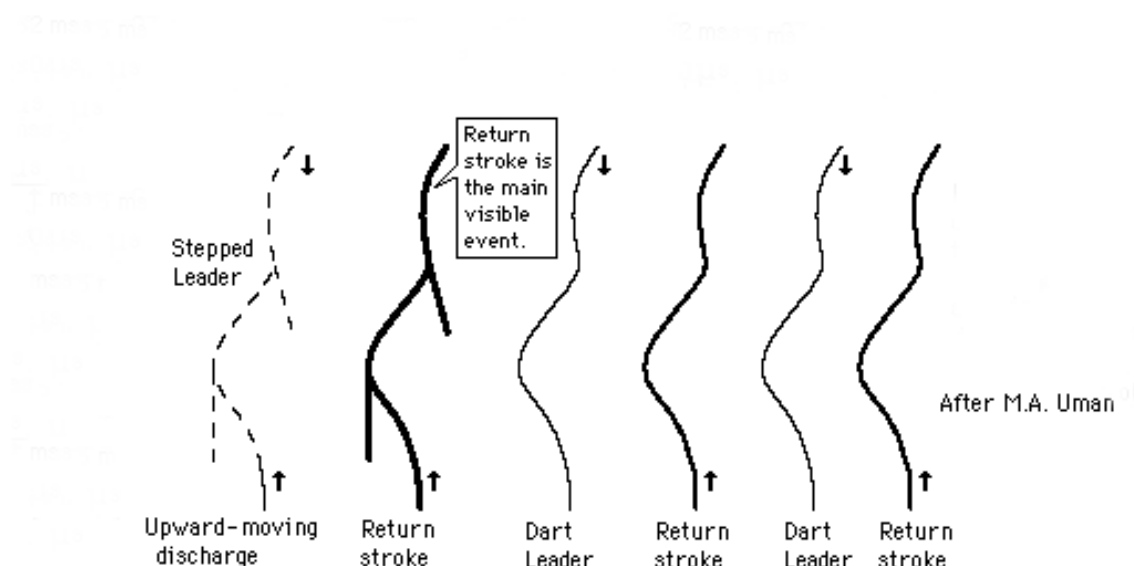
Existují rozličné vysvětlující teorie, těmi se však ve své práci nebudu zabývat. Obecně se jedná o procesy uvnitř samotného oblaku (změny elektrického pole, redistribuce náboje, tvorba bleskového kanálu), který připravuje podmínky pro první výboj. Ten se označuje pojmem vůdčí krokový výboj (angl. *downward stepped leader*) a vytváří ve směru k zemi kanál nabitě plazmy v několika nespojitých krocích, rychlostí průměrně 2×10^5 m/s. Když se vůdčí výboj přiblíží k zemi, elektrické napětí v objektech převyšujících okolí se zvýší a jakmile překročí kritickou hodnotu, začne od některého z těchto objektů postupovat vzhůru vstřícný výboj (angl. *upward-moving discharge*). Spojení obou kanálů (sestupného z oblaku, vzestupného od objektu na zemi) se nazývá *final jump*.

Po vytvoření bleskového kanálu následuje zpětný výboj od země (angl. *return stroke*), který se podle Rakova a Umana (2003) pohybuje až $\frac{1}{2}$ rychlosti světla a přenáší hlavní část náboje (elektrický proud v řádu desítek až stovek kA). Teplota v kanálu výboje dosahuje kolem 30 000K, opticky tak zpětný výboj vytvoří blesk v obecném slova smyslu. Hrom vytvoří tlaková vlna okolo 10atmosfér (desetinásobně vyšší hodnota tlaku než je hodnota tlaku zemské atmosféry) způsobená zvětšením objemu vzduchu v kanálu díky zvýšení teploty (Baba, Rakov, 2009), (Finke, Kreyer, 2002), (Leonibus et al., 2007a), (Rakov, Uman, 2003), (Strangeways, 2007). Pro přehled fází vývoje bleskového výboje viz Obr. 1.

2. 2 Charakteristiky blesků

První zpětný výboj může být následován jedním či více sestupnými výboji ve stejném kanálu ionizovaného vzduchu. Tyto subsekventní výboje se označují pojmem *dart leader* a střídají se se zpětnými výboji (viz Obr. 1). Počet zpětných výbojů určuje multiplicitu blesku (Finke, Kreyer, 2002), (Hall, Brown, 2006). Více než 80 % blesků se skládá z více než jednoho výboje a průměrná multiplicita CG blesku je 3 – 5 zpětných výbojů (Rakov, Uman, 2003). Multiplicita blesku změřená senzory detekčních sítí ne vždy odpovídá té skutečné z těchto důvodů: (1) Senzory detekují výboje až od určité hodnoty elektrického proudu, tj. slabé subsekventní výboje nemusí vůbec zachytit (Rakov, Huffines, 2003); (2) Některé subsekventní výboje mohou být chybně klasifikovány jako samostatné blesky (Rodger, Russel, bez vnošení).

S multiplicitou blesků je spojena další charakteristika blesků a tím je bipolarita. „Blesky se subsekventními výboji opačné polarity než první výboj se nazývají bipolární blesky“ (Schulz, Diendorfer, 2003 str. 1). Rakov (2003) uvádí jako bipolární takový blesk, který během svého vývoje transportuje do země pozitivní i negativní náboj. Výsledná polarita bipolárních blesků odpovídá polaritě prvního výboje.



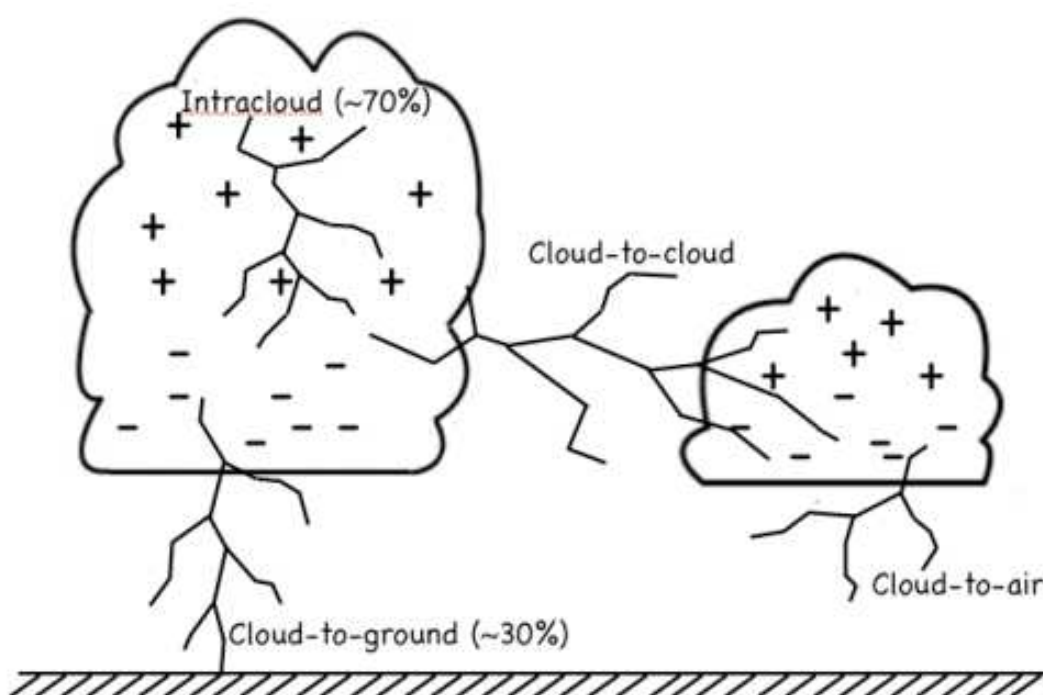
Obr. 1: Geneze výboje. Zdroj: HyperPhysics.

2. 3 Typologie výbojů

Bednář et al. (1993) vykládají slovo blesk jako: „Elektrický výboj, který vzniká mezi centry kladných a záporných nábojů jednoho nebo více oblaků, mezi oblakem a zemí, vzácně mezi oblakem a stratosférou.“ Rozlišují se čtyři typy výbojů, které transportují náboj mezi oblakem a zemí: negativní sestupný, negativní vzestupný, pozitivní sestupný, pozitivní vzestupný. Tyto čtyři typy výbojů jsou souhrnně označovány jako CG (angl. *cloud-to-ground discharge*) a přidává se k nim znaménko +- podle náboje, který nesou k zemi. CG- tvoří okolo 90 % CG výbojů, CG+ tvoří obvykle do 10% výbojů mezi oblaky a zemí, přesto však nejsilnější a nejdéle trvající blesková aktivita bývá spojena s pozitivními výboji (Dotzek, Price, 2009), (Hall, Brown, 2006), (Rakov, 2003), (Rakov, Uman, 2003), (Williams, 2005), (Zajac, Weaver, 2002). Lze tvrdit, že výskyt pozitivních výbojů je vyšší (nadprůměrný) v zimních měsících (Rakov, 2003), (Rakov, Uman, 2003), (Strangeways, 2007) a v pozdějších fázích vývoje bouřkových oblaků, kdy slábnou výstupné proudy vzduchu a kladný náboj je transportován do nižších poloh oblaku převažujícími sestupnými proudy vzduchu (Bednář, 1989), (Zajac, Weaver, 2002). Iniciovány jsou pozitivní výboje často ze stratiformních regionů ve středních hladinách oblaku, kde nepanují silné výstupné proudy, méně pak z horních hranic oblaku, kde se nachází hlavní centrum pozitivního náboje nebo z kovadliny oblaku (Saunders, 1993), (Strangeways, 2007), (Zajac, Weaver, 2002). Vzestupné výboje (iniciované od země) se šíří od vysokých přírodních či umělých

objektů vystupujících více než 100 m nad okolní terén (TV vysílače, osamocené stromy, hory...) (Baba, Rakov, 2009).

Pro výboje nezahrnující kontakt se zemí se užívá obecný výraz oblačné výboje a obecná zkratka IC (angl. *intra-cloud/inter-cloud*). Tyto výboje představují zhruba 70 % bleskové aktivity. Oblačné výboje dále mohou být rozděleny na výboje v rámci jednoho oblaku (angl. *intra-cloud*), výboje mezioblačné (angl. *cloud-to-cloud*, *inter-cloud*) a výboje mezi oblakem a okolním vzduchem (angl. *cloud-to-air*). V případě IC výbojů se opakované výboje v jednom kanálu označují anglickým pojmem *recoil streamer* (Řezáčová et al., 2007), (Rakov, Uman, 2003).



Obr. 2: Typy výbojů. Zdroj: Royal Meteorological Institute of Belgium.

3 Detekce a lokalizace bleskových výbojů

Detekovat bleskové výboje v atmosféře lze několika metodami. Člověk může svými smysly detekovat výboj opticky a akusticky (hrom). Vzdálenost blesku pak lze odhadnout pomocí času mezi optickým zaznamenáním výboje a akustickým zaznamenáním hromu, přičemž každé 3 s jsou ekvivalentem pro 1 km vzdálenosti (Strangeways, 2007). Přístrojovou detekci bleskových výbojů lze rozdělit na (1) pozemní a (2) družicovou. Senzory instalované na Zemi využívají elektromagnetické vlny generované výbojem k určení jeho polohy. Senzory na družicích detekují výboje optickou metodou – tj. jsou schopné odhalit okamžité optické změny na sledovaném území, které indikují přítomnost blesku (NASA, a). Pozemní detekci je možné provádět jedním senzorem nebo pomocí detekčních sítí. Přesnější detekce výbojů je prováděna pomocí pozemních sítí, které k lokalizaci jednoho výboje využívají více senzorů.

3. 1 Pozemní detekce

3. 1. 1 Detekce pomocí jednoho senzoru

Samostatný senzor detekuje bleskové výboje tak, že zaznamená z určitého směru elektromagnetické vlny generované výbojem a podle síly signálu určí jeho vzdálenost. Podle Rakova a Umana (2003) senzory bodové detekce zjistí přítomnost bleskové aktivity na určitém území, nemohou však být používány pro přesnou lokalizaci výboje. Tento typ senzorů je vhodný například pro armády na zahraničních misích, je možné jej zakoupit i pro soukromé použití.

3. 1. 2 Síťová detekce

Pozemní detekce má základ v síti senzorů, které jsou rozmístěny po zájmovém území. Senzory jsou přesně časově synchronizovány pomocí GPS, každý měří přesný čas zaznamenání signálu bleskového výboje, případně i směr výboje a tyto informace předávají v reálném čase do centrální zpracovatelské jednotky. Užitím vhodných metod je poté v tomto centru vyhodnocena poloha výboje. Existují dvě metody lokalizace výbojů: (1) První z nich se označuje anglickým termínem *direction finding* (DF). Při této metodě se užívají například dvě vertikálně ortogonálně orientované antény (může jich být i více) ve směru severo-jížním a východo-západním, kterými je detekován směr (azimut), ze kterého přichází elektromagnetický signál. Poloha blesku je dána průsečíkem naměřených přímk. Teoreticky jsou k lokalizaci (získání průsečíku) nutné pouze

dva senzory, prakticky však při polohách výboje blížících se přímce spojující tyto senzory může dojít k chybné lokalizaci. V detekčních sítích je tedy optimální používat k detekci jednoho blesku alespoň tři senzorů (Rakov, Uman, 2003), (Finke, Kreyer, 2002). (2) Druhá metoda lokalizace výbojů se anglicky nazývá *time of arrival* (TOA). Senzory využívající tuto metodu určují přesný čas zaznamenání signálu od výboje; výsledná lokace výboje je průsečíkem hyperbol pro stejné časové difference několika senzorů (nejlépe tří až čtyř) (Dienhofer, 2007), (Finke, Kreyer, 2002), (Řezáčová et al., 2007). Je nutné velmi přesné zaznamenání času příchodu signálu, obvykle v řádech stovek nanosekund, což bývá řešeno synchronizací podle GPS (Leonibus et al., 2007a).

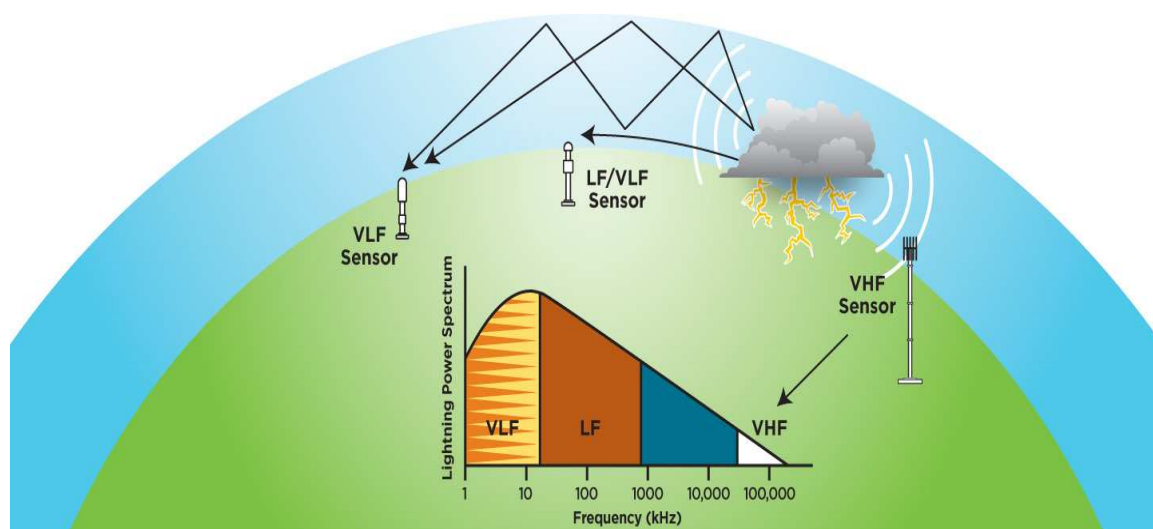
Bleskové výboje v atmosféře generují elektromagnetické vlny v širokém spektru, senzory pozemních detekčních sítí jsou však konstruovány na detekci pouze na určitém intervalu (dlouhé vlny, velmi krátké vlny, velmi dlouhé vlny – viz Obr. 3).

Systémy pracující na dlouhých vlnových délkách (DV, $\lambda=0,1 - 1$ km, $f=30$ kHz – 300 kHz) patří k nejrozšířenějším na světě. Detekují signály především ze zpětných CG výbojů (kdy je vyzářeno nejvíce energie na dlouhých vlnách) a nejsilnějších IC výbojů. Tyto senzory dokáží v malém počtu pokrýt velká území na úrovni států, jelikož dlouhé vlny se šíří téměř rovnoběžně se zemským povrchem. Využívány jsou rovněž k detekci na větších územích přesahujících velikost jednotlivých států (většina Evropy, S. Amerika) (Finke, Kreyer, 2002), (Leonibus et al., 2007a), (Rakov, Uman, 2003).

Systémy detekující výboje na velmi krátkých vlnách (VKV, $\lambda=1 - 10$ m, $f=30$ MHz – 300 MHz) zaznamenávají všechny výboje (tzv. *total lightning*). Narozdíl od senzorů pracujících na dlouhých vlnových délkách tedy detekují i slabé vůdčí výboje a většinu mezioblačných výbojů. Tato detekovaná elektrická aktivita oblaků může a nemusí vyústit v silné CG výboje. Nelze proto tvrdit ve všech případech, že oblačné výboje zaznamenané detektory VKV slouží jako prediktory silné konvektivní aktivity a s ní spojených nebezpečných atmosférických jevů. Tyto senzory nerozlišují mezi IC a CG výboji, proto na nich často bývá navíc umístěn detektor DV, který rozlišuje silné zpětné výboje (Finke, Kreyer, 2002), (Rakov, Uman, 2003). Senzory pracující na VKV jsou daleko více citlivé na zakřivení zemského povrchu a vliv orografie než dlouhovlnné detektory, nejsou proto příliš vhodné pro pokrytí velkého území a doporučují se využívat především v místech, kde je nebezpečná jakákoliv blesková aktivita (letišť, kosmodromy...). Existují však i VKV sítě pokrývající území celých států. Optimální vzdálenost mezi senzory se pohybuje v řádech desítek kilometrů (Lojou et al., 2009), (Řezáčová et al., 2007).

Detekční sítě pracující na velmi dlouhých vlnách (VDV, $\lambda=1 - 10$ km, $f=5$ kHz – 10 kHz) využívají odrazu elektromagnetických vln od ionosféry. Senzory těchto sítí

nezaznamenávají polaritu ani velikost elektrického proudu, umožňují však detekci CG výbojů na velké vzdálenosti (tisíce kilometrů). Přesnost je ve velké vzdálenosti od senzorů nižší než u systémů detekujících výboje na DV a VKV (Leonibus et al., 2007a), (Rakov, Uman, 2003), (Řezáčová et al., 2007).



Obr. 3: Frekvenční intervaly senzorů. Zdroj: Schulz (2011).

Detekce elektrických výbojů v atmosféře má v Evropě základ v národních sítích, které spolupracují a poskytují si vzájemně data pod záštitou EUCLID (European Cooperation for Lightning Detection). Její součástí zahrnující Českou republiku je CELDN (Central European Lightning Detection Network). V Evropě (stejně jako v americké detekční síti National Lightning Detection Network - NLDN) jsou využívány senzory pracující na DV, které v současné době vlastní a vyvíjí finská společnost Vaisala. Podle Leoniba et al. (2007a) jsou senzory této společnosti nejrozšířenější na světě.

Další síť v Evropě detekující výboje na DV je relativně nová německá síť LINET, která má dnes senzory umístěny v několika zemích Evropy. Senzory této sítě jsou detekují výrazně větší množství i mezioblačných výbojů, přestože pracují na dlouhých vlnách (k rozlišení IC a CG využívají výšku výboje určenou senzory 3D TOA) (Baba, Rakov, 2009). Podle srovnávací studie Nováka (2012) LINET detekuje více slabších výbojů než CELDN (EUCLID), nezaznamenává však výrazně dřívější výboje nebo exkluzivní výboje v některých slabších konvektivních bouřích, které by predikovaly konvektivní bouře lépe než radar.

V evropských státech jsou rovněž (i když v menší míře) využívány senzory detekující VKV. Dnes jsou instalovány například v Polsku nebo v zemích Beneluxu. Moderní senzory vyvíjené firmou Vaisala již dokáží současně detekovat elektromagnetické vlny generované výboji na VKV i DV, proto jsou starší senzory pro detekci na výhradně na VKV nebo DV těmito modernějšími nahrazovány.

Senzory detekující výboje v oblasti VDV provozuje v Evropě například britská meteorologická služba (UK Met Office) – síť se nazývá ATDNET. V současnosti využívá cca 10 senzorů zejména v Evropě. Přesnost lokalizace ATDNET je ve Velké Británii 1 – 2 km, ve zbytku Evropy do 5km, mimo Evropu pak 5 – 40 km (Bennet et al., 2009). Dalším příkladem detekční sítě pracující na VDV je GLD360 společnosti Vaisala. Tato síť v současnosti pokrývá téměř celou severní polokouli a část jižní, je v plánu další rozšíření. Efektivita detekce je 70 % a přesnost 5 – 10 km (Vaisala, 2009). Pro přehled současných sítí pracujících na VDV viz Bennet et al. (2009).

Relativní novinkou je komunitní detekční síť Blitzortung. Její součástí je možné se stát zakoupením součástek na výrobu vlastního senzoru, ze kterého účastník odesílá data autorům, kteří zpracovávají a vizualizují data z celé sítě těchto dobrovolnických detektorů. V současnosti komunita sítě Blitzortung čítá téměř 550 členů ze zemí po celém světě včetně České republiky (blitzortung.org).

3. 2 Detekce senzory na družicích

Detekce a lokalizace blesků z vesmíru začala fungovat v polovině 90. let minulého století. Boccippio a Christian (1998) uvádějí, že hlavním posláním prvních experimentálních kosmických senzorů na detekci blesků bylo určit globální klimatologii blesků. Detekce a lokalizace blesků z vesmíru doplňuje data z pozemní detekce a také částečně řeší její problémy. Ty zahrnují především: (1) nehomogenitu senzorů (z vesmíru je postupně snímána celá Země nebo její část pouze jedním senzorem); (2) nízkou efektivitu detekce oblačných výbojů (senzory pracující na VKV, které jsou schopné tyto výboje detekovat musí být umístěny relativně blízko sebe kvůli citlivosti na zakřivení Země a orografii, proto je nelze využívat na detekci výbojů pro velké územní celky); (3) chybějící data z oblastí oceánů a chudých zemí, které si nemohou dovolit zakoupit a spravovat senzory (Finke, Hauf, 2002), (Finke, Kreyer, Hauf, bez vrocení), (Leonibus et al., 2007b), (Rakov, Uman, 2003).

Prvním vyslaným senzorem na oběžnou dráhu byl v roce 1995 OTD (Optical Transcient Detector), který fungoval ve výšce 740 km a Zemi oběhnul po polární dráze

jednou za 90 min, monitoroval tudíž jedno místo na Zemi jen několik minut denně. Jeho přesnost v lokalizaci blesku byla cca 10 km, efektivita okolo 50 %. Efektivita se snižovala zejména během dne, kdy jsou rozdíly mezi svítivostí sluncem osvětlených oblaků a blesků velmi malé (Boccippio, Christian, 1998). OTD byl vyslán jako prototyp dalšího vylepšeného senzoru LIS (Lightning Imaging Sensor) operujícího od roku 1997 na družici TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Tato družice obíhá na polární dráze ve výšce 350 km nad zemským povrchem a monitoruje oblast tropů a subtropů v oblasti $\pm 35^\circ$ zem. š.. Efektivita detekce blesků LIS je okolo 90 % a přesnost lokalizace blesku 3 – 6 km (Boccippio, Christian, 1998), (Christian et al., 1999), (Rakov, Uman, 2003).

Dodnes byly vyslány na oběžnou dráhu pouze tyto experimentální typy senzorů. Je již však rozhodnuto o vyslání operativních senzorů na detekci blesků na nové generaci geostacionárních družic Meteosat a GOES, které budou umístěny na pevnou pozici ve výšce cca 36 000 km nad rovníkem. Bude tak možné monitorovat neustále celou jednu zemskou hemisféru, data budou k dispozici v téměř reálném čase. Hlavní slabinou výše popsaných experimentálních senzorů je totiž především jejich nízká oběžná dráha, kvůli které není možné sledovat jednu část Země nepřetržitě. Očekávaná efektivita by měla být 50 – 90 % podle síly výboje, přesnost okolo 8 km. Parametry nejsou tedy o mnoho jiné než ty, které mají senzory na polárních drahách, přestože tyto geostacionární družice budou monitorovat Zemi z výšky o několik řádů vyšší (Finke, Grandell, Stuhlmann, 2009).

4 Obecná klimatologie blesků

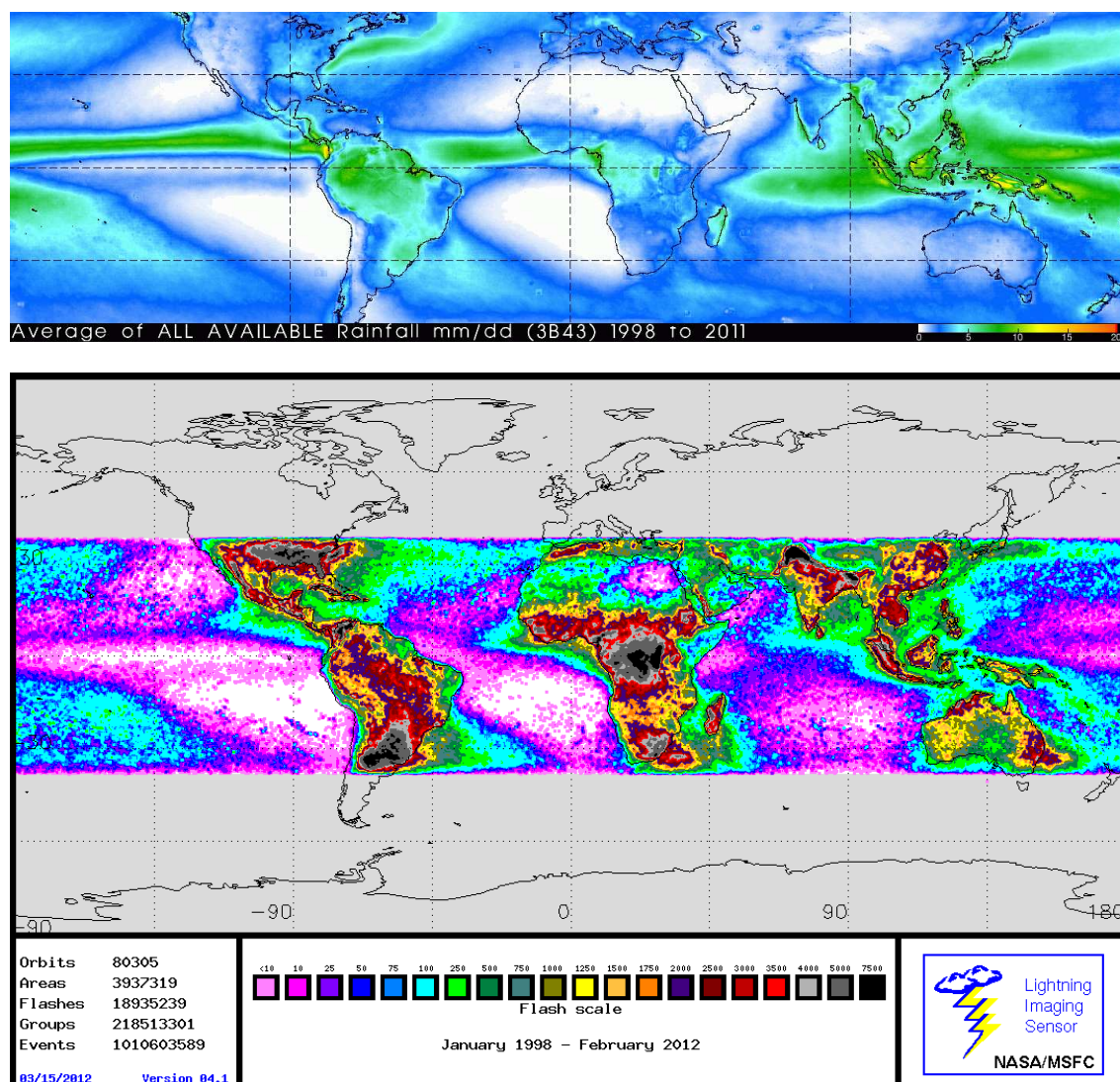
Díky monitoringu Země z družic lze obecné charakteristiky výskytu blesků sledovat v globálním měřítku a porovnávat je s dalšími meteorologickými charakteristikami ovzduší, které jsou pro určitá území známy. V následujících dvou podkapitolách jsou shrnuty všeobecné charakteristiky výskytu výrazné bleskové aktivity a charakteristiky výskytu blesků nad Českou republiku a některými dalšími evropskými státy.

4. 1 Všeobecné charakteristiky výskytu blesků

Globální měření senzorů na oběžné dráze za více než 15 let prokázalo, že nad pevninou se v celkovém úhrnu vyskytuje mnohem více blesků než nad oceány. Blesková aktivita nad oceány se podle Blakeslee et al. (2012) podílí pouze 10 – 14% na celkovém světovém úhrnu blesků. Tento fakt je na první pohled překvapivý vzhledem ke skutečnosti, že nejvyšší úhrny srážek jsou relativně rovnoměrně rozloženy v celé rovníkové zóně konvergence (s maximem v oblasti Indonésie) a k faktu, že silné deště se obvykle vyskytují spolu s bleskovou aktivitou v konvektivní oblačnosti. Srovnání celkového světového úhrnu srážek a blesků za více než desetileté období sledování Země družicí Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) nabízí Obr. 4.

Zmíněné rozložení bleskové aktivity je vysvětlováno silnějšími výstupnými proudy vzduchu v oblacích nad pevninou, kde se díky nízké tepelné kapacitě země přilehlá vrstva atmosféry prohřívá více než přilehlá vrstva atmosféry nad oceánem. Takovéto vysvětlení vyšších úhrnů blesků nad pevninou se označuje jako tepelná hypotéza (Boccipio, Christian, 1998), (Christian et al., 1999), (Soula, 2009), (Price, 2009), (Williams, 2005), (Williams, Stanfill, 2002). Další hypotézu přináší Coquillat et al. (2013) a Williams a Stanfill (2002), kteří pokládají teorii aerosolů za jedno z přijatelných vysvětlení zmíněného prostorového rozdělení bleskové aktivity. Zjednodušeně se jedná o teorii, která uvažuje aerosoly (vyskytující se mnohem více nad pevninou než nad oceány a ještě více nad městskými aglomeracemi) jako oblačná kondenzační jádra. Jejich velké množství snižuje velikost oblačných kapiček ve prospěch jejich počtu. Elektrifikace oblaku se tak zvyšuje díky velkému počtu kapiček, které spolu interagují. Nad pevninami se proto vyskytuje více bouří s intenzivnější bleskovou aktivitou než nad oceánem (Price, 2009). Touto teorií se rovněž zabývají případové studie zvyšování úhrnů blesků nad světovými aglomeracemi se zvyšováním koncentrace aerosolů. Jedná se například o Coquillat et al. (2013): Paříž; Lal a Pawar (2011): Mumbai,

Bangalore, Delhi, Kolkata (Indie); Kai, Liou, Ha (2009): Busan, Incheon, Daegu, Taejon, Gwangju (Jižní Korea).



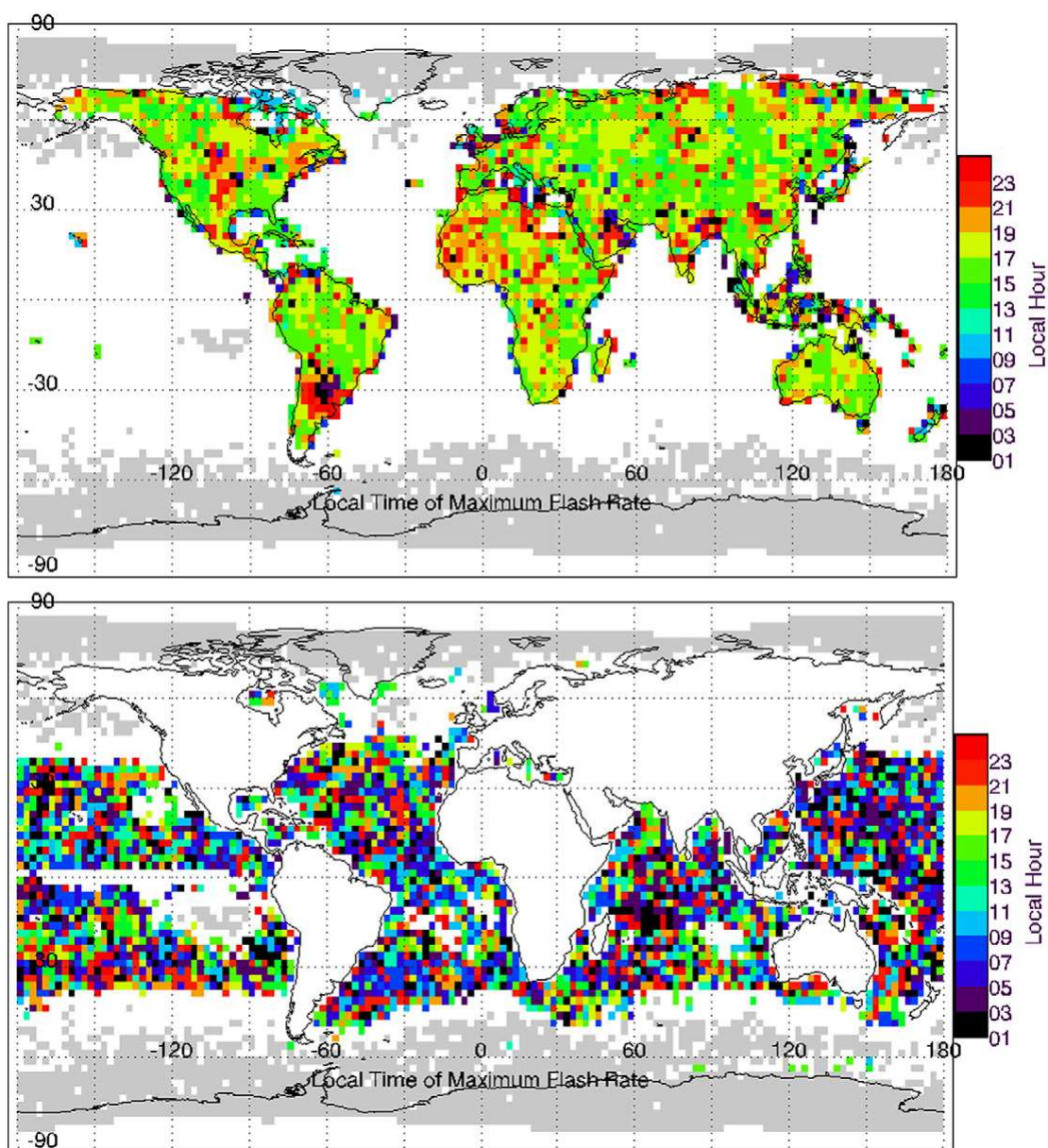
Obr. 4: Globální úhrny srážek (nahore) a blesků (dole) za období 1998-2011/2012 (data z družice TRMM). Zdroj: NASA (b), NASA (c).

Při pohledu na úhrny blesků detekované družicovým senzorem LIS v období 1998-2012 (Obr. 4) je patrné maximum v kontinentální tropické Africe a subtropické Jižní Americe. Vzhledem k přetrvávajícím nejasnostem mechanismu elektrifikace oblaků není v současné době úplně vysvětlen výrazný výskyt blesků, tato problematika je však podrobena rozličným případovým studiím.

Jeden z pokusů o určení obecných charakteristik oblastí světových maxim bleskové aktivity nabízí Price (2009), Williams a Stanfill (2002) a Williams et al. (2005), kteří testují předpoklad výraznější bleskové aktivity v relativně kontinentálním ovzduší (sušším, nikoliv zcela suchém). Price (2009) a Williams a Stanfill (2002) srovnávají tři tropické „horké skvrny“ úhrnu blesků (Afrika, subtropická Jižní Amerika, Jihovýchodní Asie) a úhrny srážek v těchto oblastech na téměř 15leté časové řadě dat z družice TRMM (viz Obr. 4). Zatímco Afrika vykazuje za zmíněné období nejvyšší úhrn blesků a nejnižší úhrn srážek z těchto tří regionů, u Jihovýchodní Asie je tomu naopak. Subtropická Jižní Amerika představuje v obou případech střední hodnotu. Toto prosté srovnání může ukazovat na relativně slabou elektrifikaci oblaků vlhkého oceánského ovzduší (v tomto případě Indonésie). Na vliv oceánu odkazuje i Tuomi a Mäkelä (2008), kteří na studiu klimatologie blesků ve Finsku poukazují na relativně nízké úhrny blesků v pobřežních oblastech. Tento úkaz pak vysvětlují studeným mořem, které oslabuje podmínky pro hlubokou konvekci. Jako případová studie byla dále například vybrána sezonalita El Niño Southern Oscillation, kdy se ve 3 – 8letých intervalech střídá vlhké (La Niña) a suché (El Niño) období nad západním pobřežím rovníkového Pacifiku. Podle Price (2009) bylo během jevu El Niño v roce 1998 detekováno o 57 % více blesků než v následujícím vlhkém období La Niña. Další hypotézu přináší Williams et al. (2005), který prokázal na datech z LIS a z pozemních stanic v roce 2000 pozitivní korelaci mezi výškou základny oblaku a bleskovou aktivitou. Tento výsledek rovněž podporuje předpoklad určitého vztahu bleskové aktivity a relativní vlhkosti ovzduší. Ta se nad pevninou pohybuje okolo 60 % a nad oceánem okolo 80 %. Zmíněný rozdíl pak ovlivňuje obvyklou výšku základny - v sušším ovzduší dosahuje vzduch stavu nasycení ve větší vertikální vzdálenosti od povrchu než je tomu ve vlhčím prostředí a vysoké základně oblaku odpovídá vysoká blesková aktivita.

Vzhledem k uvedeným zjištěním lze tedy africké maximum hypoteticky vysvětlit následujícími body: (1) Oblast se nachází na rovníku, kde je geografická predispozice pro vznik výstupných pohybů vzduchu (zóna konvergence). (2) Zároveň se jedná o relativně vyvýšenou kontinentální oblast, kde vlhkost ovzduší nedosahuje takových hodnot jako například v oblasti subtropické Jižní Ameriky nebo Indonésie, nevyskytují se zde proto klasické oceánské srážky, ale silnější kontinentální bouře s vysokou elektrifikací.

Kontrastu mezi pevninou a oceánem zmíněném na začátku této kapitoly podléhá i denní chod bleskové aktivity (viz Obr. 5). Zatímco nad světovými kontinenty je patrné maximum v odpoledních hodinách, kdy jsou povrch a přilehlá vrstva atmosféry nejvíce prohřátý, nad světovým oceánem je trend nejistý. Se změnami teplot souvisí i roční chod bleskové aktivity (zejména ve středních a vyšších zeměpisných šířkách), kdy je nejvíce blesků nad sledovaným územím pozorováno v období nejvíce prohřátého povrchu (léto) (Blakeslee et al., 2012), (Williams, 1994).



Obr. 5: Místní čas maximálního úhrnu blesků. Zdroj: Blakeslee et al. (2012).

4. 2 Výskyt bleskových výbojů nad Evropou

I přesto, že data ze senzoru LIS na družici TRMM pokrývají jen tropické a subtropické oblasti Země, data z OTD a pozemních detekčních sítí poskytují globální pohled rovněž na oblasti mimotropické. V okolí rovníku se vyskytují lepší podmínky pro tvorbu hluboké konvekce a center elektrického náboje, proto se v těchto zeměpisných šířkách vyskytuje obecně více bleskové aktivity než v těch vyšších. Pro střední a vyšší zeměpisné šířky jsou bleskové výboje fenoménem především teplých měsíců, v chladném období je blesková aktivita výrazně slabší.

Představu o rozdílu bleskové aktivity mezi severem a jihem Evropy si lze udělat například z klimatologických studií blesků pro území Finska (Tuomi, Mäkelä, 2008) a Rumunska (Antonescu, Burcea, 2010). Data za vybrané země se liší především v počtu detekovaných blesků. Nad územím Finska nejvyšší denní úhrny blesků v červenci nepřekročí 5 000 blesků, roční úhrny se od roku 2000 pohybují v rozmezí 50 000 – 200 000 blesků (zdroj: Finnish Meteorological Institute). Ve studii pro Rumunsko za období 2003-2007 (bez roku 2006) jsou uvedeny pouze roční úhrny blesků nad celým územím, které představuje méně než 65 % rozlohy Finska. Tyto úhrny se pohybují okolo 400 000 blesků/rok, lze proto usuzovat rovněž na vyšší maximální denní úhrny než je tomu ve Finsku. Dalším rozdílem mezi severem a jihem Evropy je délka hlavního období bleskové aktivity. Ta v obou oblastech vrcholí v červenci, v květnu a v září je však blesková aktivita nad Finskem zanedbatelná, zatímco v Rumunsku lze na podzim díky teplým vlhkým proudům od Středozemního moře očekávat zvláště silné bouře. Maximální denní úhrny blesků se v obou zemích vyskytují v rozmezí 15 – 17 hod místního času (Antonescu, Burcea 2010), (Tuomi, Mäkelä, 2008).

Data o bleskové aktivitě ve střední Evropě jsou veřejně k dispozici na webových stránkách daných detekčních sítí. Data rakouské národní detekční sítě Austrian Lightning Detection and Information System (ALDIS) za období 1992-2012 ukazují nad Rakouskem nejvyšší bleskovou aktivitu v měsících od května do září (zdroj: Blitzstatistik: Blitzanzahl). Stejný trend potvrzují data německé detekční sítě der Blitz Informationsdienst von Siemens (BLIDS) za období 2004-2011 na území Německa a Švýcarska (zdroj: Statistik: Anzahl aller registrierten Blitze pro Monat und Jahr).

Studie Nováka a Kyznarové (2011) přináší podobné výsledky pro data za ČR v období 2002-2008, kdy je nejvýraznější blesková aktivita detekována mezi květnem a srpnem. Rovněž potvrzuje nejvyšší bleskovou aktivitu v odpoledních hodinách mezi 15. a 17. hodinou. Jejich studie se dále zabývá zvýšenou bleskovou aktivitou v okolí objektů výrazně převyšujících své okolí (viz Kapitolu 1. 3). Jmenovitě jsou to například Ještěd, Praděd, Klet' a další (všechny zmíněné vrcholy převyšují 1000 m n. m. a jsou

na nich instalovány vysílače s výškou v rozmezí 94 – 175 m). U všech zkoumaných případů (celkem šest) byla prokázána zvýšená blesková aktivita v jejich okolí.

Studie potvrzující vliv vyvýšených objektů (vysílače, orografie) na výskyt blesků byla provedena Feudale et al. (2012) na případě severovýchodní Itálie v období 1995-2011. Nejvyšší průměrný úhrn blesků byl naměřen v předhůří Karnských a Julských Alp, tedy nad orografickou překážkou, ale se zřejmou vazbou na zdroj vlhkosti, kterým je v tomto případě Jaderské moře. Dalším zaznamenaným maximem bylo blízké okolí Dobratschského vysílače (s výškou 165 m) na vrcholu Dobratsch (2115 m n. m.) u rakouských hranic. Zajímavé bylo rovněž rozdělení zájmového území na pobřežní oblast (do 5 m n. m.), dále předhůří a nakonec hory (nad 400 m n. m.). Pomocí tohoto rozdělení byl prezentován vliv moře na pobřežní oblast ve smyslu zhlazení denního chodu bleskové aktivity. Ten má pro vnitrozemí (a rovněž v tomto případě pro vyšší nadmořské výšky) jasné maximum v již zmiňovaných 15 – 17 hodin, pro pobřeží je trend nejistý přibližující se nočním hodinám (viz také globální rozdíl mezi denními maximy na pevnině a na oceánu – Kapitola 4. 1, Obr. 5).

5 Výrazná blesková aktivita nad ČR

Tato kapitola představuje bleskovou aktivitu nad Českou republikou v letech 2002-2012 a analyzuje vybrané dny s výraznou bleskovou aktivitou.

5. 1 Data a metodika

V následující části práce jsou použita data za období 2002-2012, která jsou poskytována středoevropskou detekční sítí Central European Lightning Detection Network (CELDN) pro Českou republiku. CELDN využívá data z některých německých a rakouských senzorů a ze senzorů v Polsku, České republice, na Slovensku a v Maďarsku. Efektivita detekce CG výbojů v rámci CELDN je 90 % a více, přesnost lokalizace 1 km a méně (Novák, 2012). Data byla poskytnuta Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ) jako úhrnné informace pro území České republiky za jednotlivé dny ve standardním formátu, který je využíván pro operativní přípravu dlouhodobých charakteristik. K práci byla rovněž poskytnuta data nejvyšších úhrnů blesků na čtverec 1 x 1 km pro každý den. Tato data jsou původně určena ke studiu vlivu vysílačů a jiných vyvýšených objektů na bleskovou aktivitu v jejich okolí (viz Novák, Kyznarová, 2011 a Feudale et al., 2012 v Kapitole 4. 2), proto tak malý čtverec.

Ačkoliv CELDN poskytuje informace jako je polarita nebo typ výboje o každém bleskovém výboji (angl. *stroke*), v práci jsou využity denní úhrny blesků (angl. *flash*) nad Českou republikou. Den je v tomto případě vymezen od půlnoci do půlnoci UTC. Jednotlivé výboje je možné spojovat do blesků podle různých algoritmů, které se používají k redukci velkého množství dat pro další použití. V ČHMÚ se pro data CELDN používá shodný algoritmus jako v okolních zemích (Německo, Rakousko), kdy se seskupují k prvnímu výboji ty následující, které jsou vzdálené do okruhu 10 km, času do 500 ms mezi jednotlivými výboji a celkovém času do 1 s (Novák, 2012), (Finke, Kreyer, 2002). Americký meteorologický slovník rovněž uvádí další výklad anglického slova *flash* jako: „Souhrn pozorovaných bleskových výbojů, obvykle v době do 1 s.“

Použitá časová řada začíná v roce 2002, přestože poskytování dat z CELDN pro ČHMÚ funguje již od roku 1999. Data v mezidobí však nelze považovat za reprezentativní – senzorů bylo málo a celý provoz byl zkušební s velkým množstvím výpadků. Novák a Kyznarová (2011) na datech v období 1999-2008 prokázali, že mezi lety 1999-2001 bylo na synoptických stanicích zaznamenáno výrazně více bouří než detekovaných blesků v porovnání s následujícím obdobím 2002-2008 (viz Obr. 6)

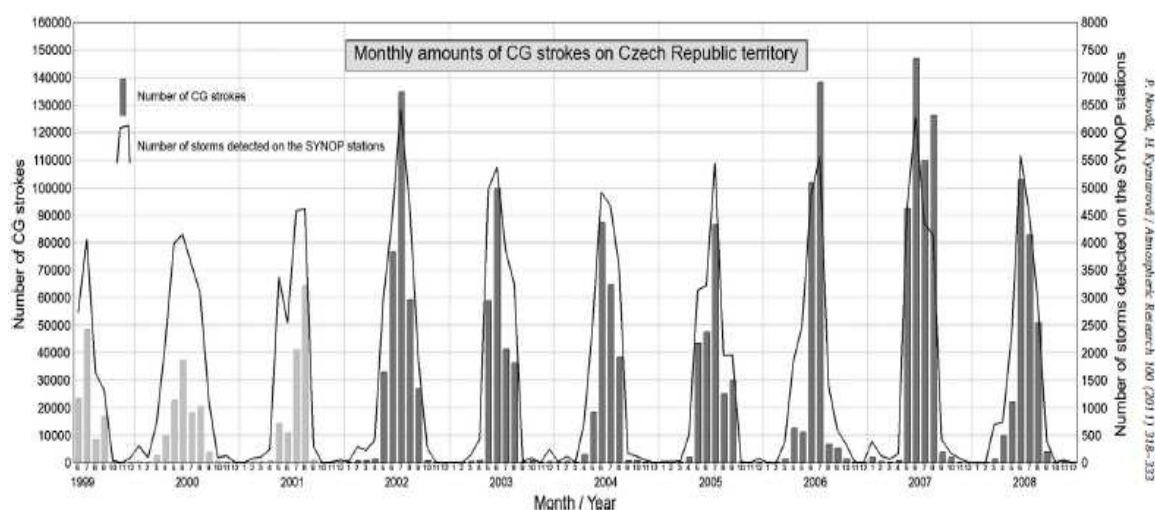


Fig. 4. Monthly amounts of CG strokes and storm records from the Czech meteorological stations.

Obr. 6: Měsíční úhrny blesků nad Českou republikou (sloupce) v porovnání se zaznamenanými bouřemi (linie) v období 1999-2008. Zdroj: Novák, Kyznarová (2011).

Z výsledků práce byly vyselektovány dny, kdy byla detekovaná blesková aktivita nižší než pět blesků (tj. byly klasifikovány jako dny bez bleskové aktivity a úhrny v těchto dnech nebyly počítány do celkových úhrnů za jedenáctileté období). Hlavním důvodem zmíněného výběru bylo vyloučení falešně identifikovaných blesků. Podle Nováka a Kyznarové (2011) produkuje CELDN určitý počet těchto falešných blesků v řádech jednotek na denním záznamu. Tito autoři proto rovněž navrhují označovat jako den s bleskovou aktivitou takový, během kterého je detekováno alespoň pět nebo deset bleskových výbojů. Pokud byla výše popsanou selekcí výbojů ztracena nějaká skutečná blesková aktivita, jedná se pouze o velmi malé procento.

Většina výrazné bleskové aktivity se u nás vyskytuje v teplých měsících a aby tedy výrazná blesková aktivita v zimním období úplně nezanikla v řadě letních bleskových výbojů, byly kalendářní roky rozděleny do dvou období. Jedno období tvoří první a poslední čtvrtina roku (dále jako zimní půlrok), druhé období tvoří půlrok mezi dubnem a zářím (dále jako letní půlrok). V každém půlroce byly vybrány 2 % dnů s nejvyšší bleskovou aktivitou a pro tyto dny byly zjištěny následující meteorologické charakteristiky: (1) První z nich je hodnota Convective Available Potential Energy (CAPE), která představuje tzv. pozitivní energii instability. To je energie, jakou je vzduchová částice vynášena směrem vzhůru po dosažení hladiny, která se nazývá hladina volné konvekce (HVK). (2) Hodnotou, která s první jmenovanou do jisté míry souvisí je Convective Inhibition (CIN). Tato hodnota představuje tzv. negativní energii instability, tedy energii, kterou je nutné vynaložit k dosažení HVK z přízemní vrstvy atmosféry. Pro více

informací o zmíněných ukazatelích instability teplotního zvrstvení viz Řezáčová et al. (2007) nebo Marek (2011). (3) Třetí charakteristikou ovzduší užitou v práci, je výška výstupné kondenzační hladiny (VKH). Tato hladina je pokládána za aproximaci základny oblačnosti (angl. *cloud base height* – CBH). (4) Poslední charakteristikou, která byla pro dny s výraznou bleskovou aktivitou zjišťována je typ povětrnostní situace (typizace podle ČHMÚ) a přechody front přes Prahu-Ruzyň.

Hodnoty CAPE a CIN jsou k dispozici ve veřejném online archivu aerologických sondáží světových meteorologických stanic na webových stránkách University of Wyoming. Pro Českou republiku jsou na tomto serveru k dispozici data z observatoře Praha-Libuš pro každý den od roku 1973. CAPE a CIN byly vybrány jako charakteristiky instability ovzduší a byl zkoumán rozsah těchto hodnot pro vybrané dny a jejich korelace s bleskovou aktivitou. Výška VKH byla vypočtena z hodnot přízemního tlaku, tlaku ve VKH a teploty ve VKH, které jsou rovněž volně k dispozici na webových stránkách University of Wyoming.

Pro výpočet výšky VKH byla využita barometrická formule, podle které platí:

$$z_2 = z_1 + \{(R_d T_v / g) * [\ln(p_1 / p_2)]\}$$

kde z je výška (1 - přízemní/2 - VKH), R_d je měrná plynová konstanta nenasyceného vzduchu (287 J/kgK), T_v je virtuální teplota ve VKH a p je tlak (1 - přízemní/2 - ve VKH).

Virtuální teplota ve VKH byla vypočtena podle vztahu:

$$T_v = T_2 * \{1 + [0,378e / (p_2 - 0,378e)]\}$$

kde T_2 je teplota ve VKH, p_2 je tlak ve VKH a e je Eulerovo číslo pro výpočet zaokrouhlené na tři desetinná místa.

Výška základny oblaku byla vybrána pro výzkum mezních hodnot vyskytujících se ve dnech s výraznou bleskovou aktivitou. Dále byla ověřována pozitivní korelace mezi úhrnem blesků a výškou základny oblaku (inspirována studií Williamse et al., 2005) na případě České republiky. Typy povětrnostních situací a přechody front byly zjišťovány z archivu ČHMÚ, kde jsou veřejně k dispozici data od roku 1946 pro typy povětrnostních situací a od roku 1950 pro přechody front přes Prahu-Ruzyň. Tyto cha-

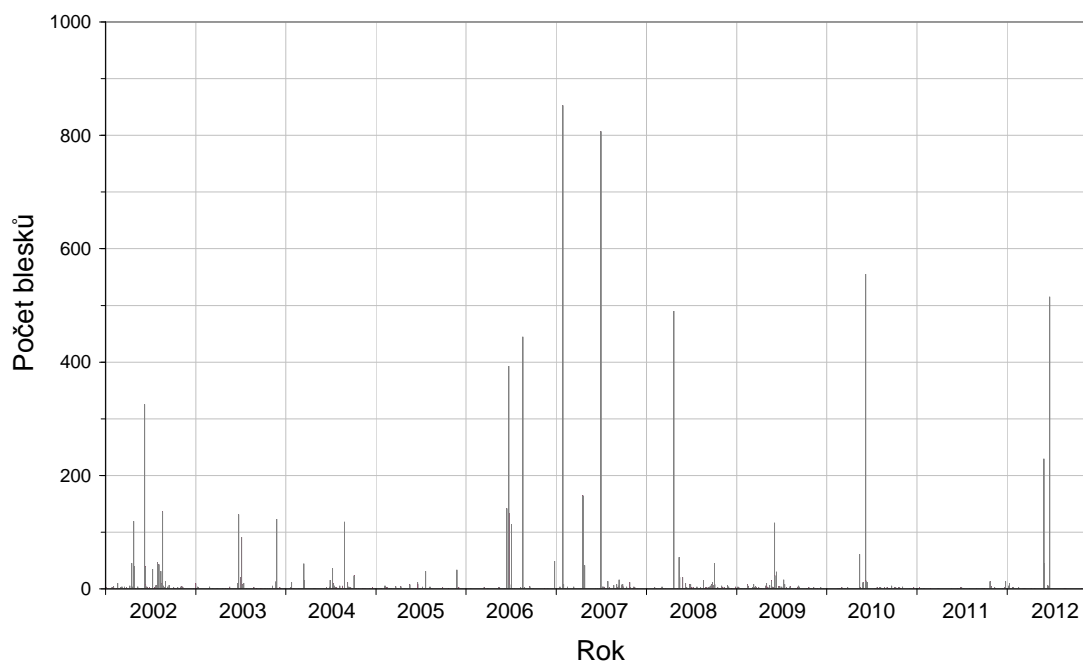
rakteristiky byly zvoleny pro určení převažujícího typu konvektivní oblačnosti, ve které se výrazná blesková aktivita vyskytla – zda se jedná o bouře v teplém sektoru či ve frontální zóně.

5. 2 Výsledky práce

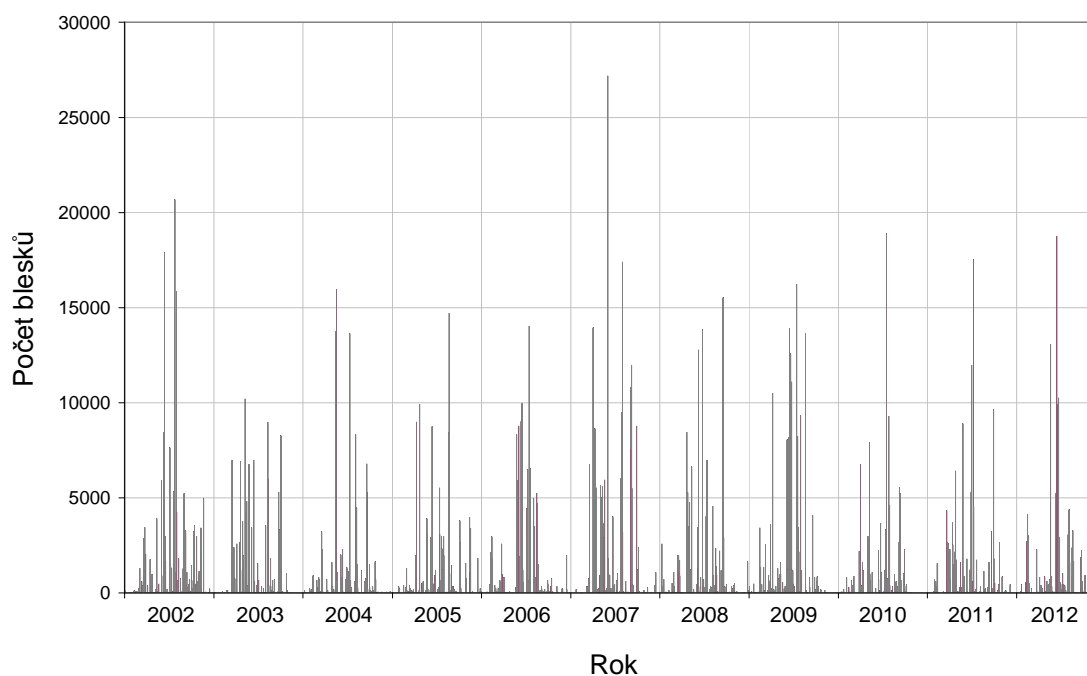
V následující podkapitole jsou prezentována data, se kterými bylo pracováno – jejich roční chody a maxima v jedenáctileté časové řadě. Dále jsou představeny dny s výraznou bleskovou aktivitou ve sledovaném období a jednotlivé meteorologické charakteristiky těchto dní (popsané v Kapitole 5. 1) včetně vztahu k síle bleskové aktivity.

5. 2. 1 Blesková aktivita nad ČR v období 2002-2012

Celkový pohled na rozložení bleskové aktivity během roku za posledních jedenáct let nabízí Příloha 1. Na první pohled je jasně patrné, že maxima se vyskytují vždy okolo poloviny roku, zatímco ke konci a na začátku kalendářního roku je blesková aktivita v souhrnném pohledu zanedbatelná. Grafy 1 a 2 poskytují náhled na rozložení bleskové aktivity v uměle vytvořených půlrocích (viz Kapitolu 4. 1). Dále lze na zmíněných grafech rozlišit maximální denní úhrny blesků v jednotlivých obdobích. Maximem za letní období (a zároveň absolutním maximem za sledovaných 11 let) je 27 175 blesků detekovaných 21. 6. 2007. Maximum v zimním půlroce je pak 853 blesků z 18. 1. 2007 a den s druhou nejsilnější bleskovou aktivitou v zimním půlroce je 5. 10. taktéž v roce 2007. Zatímco u letních měsíců se dny s bleskovou aktivitou pohybují běžně v řádech tisíců blesků denně, v zimním půlroce se jedná o řády jednotek a desítek. Pouze v několika málo nejvýraznějších případech zimní bleskové aktivity je dosaženo stovek blesků denně. V letním období se v použitých datech vyskytuje 1,49 % dní s více než 10 000 blesky denně a 4,87 % dní s více než 5 000 blesky denně. V zimních měsících podíl dní s bleskovou aktivitou (minimálně 5 blesků denně, viz Kapitolu 5.1) nedosahuje ani 6 % (přesně 5,83 %) všech zimních dní. Dny s více než stovkou blesků představují pouze 1 % všech zimních dní. Pro srovnání – dny s více než stovkou blesků v letním půlroce tvoří téměř 35 % dní tohoto období (680 dní).



Graf 1: Blesky nad ČR v zimním půlroce (I.-III.+X.-XII.) v období 2002-2012. Data: CELDN (poskytnuto ČHMÚ).



Graf 2: Blesky nad ČR v letním půlroce (IV.-IX.) v období 2002-2012. Data: CELDN (poskytnuto ČHMÚ).

5. 2. 2 Dny s výraznou bleskovou aktivitou nad ČR v období 2002-2012

Ve sledovaném období byly v každém půlroce vybrány 2 % dní s nejsilnější bleskovou aktivitou. Přes nízké procento dní z uplynulých 11let tvoří vybrané dny vysoké procento celkově detekované bleskové aktivity. V zimním půlroce byly vybrány dny pokrývající 94,4 % veškeré bleskové aktivity v zimním období, v letním půlroce to bylo 32,26 % veškeré bleskové aktivity v letním období. Do zmíněných výsledků nebyly zahrnuty dny s méně než 5blesky (viz Kapitolu 5.1). Již na výběru dní lze pozorovat určité tendence. Například v letním půlroce bylo vybráno 9 červnových, 21 červencových a pouze 5 srpnových dní, což je relativně překvapivé rozložení nejvýraznější bleskové aktivity v létě. V zimním půlroce se do výběru dostaly dny ze všech šesti měsíců, což je také vcelku překvapivý fakt vzhledem k zahrnutí března a října do zimního období. V těchto měsících se totiž mohou vyskytovat i podmínky typické pro letní období a byl proto očekáván výrazný příspěvek zmíněných dvou měsíců k bleskové aktivitě tohoto půlroku.

Přehled vybraných dní s výraznou bleskovou aktivitou nabízí Tabulky 1 (zimní půlrok) a 2 (letní půlrok). V těchto tabulkách jsou rovněž ke každému dni přiřazeny fronty, které daný den přecházely přes Prahu, jejich typ a čas přechodu (UTC). Dále je v tabulkách uveden typ povětrnostní situace pro daný den (typizace podle ČHMÚ) a jako poslední nejvyšší počet blesků na rozloze čtverce 1 x 1 km. Tento způsob prezentace vybraných dní poskytuje možnost jejich přímého srovnání ve třech charakteristikách a zjištění určitých tendencí.

V zimním půlroce se dny s výraznou bleskovou aktivitou vyskytovaly ve dnech s přechodem fronty v 80% případech, v letním půlroce to bylo v 61,5% případech (v tabulkách absence frontální oblasti vyznačeny tučně červeně). Zmíněné srovnání ukazuje na relativně malý rozdíl mezi letními a zimními dny s výraznou bleskovou aktivitou ve vztahu k přítomnosti frontálního rozhraní. Při bližším zkoumání lze však zjistit, že dny v zimním půlroce bez výskytu fronty jsou dny druhé poloviny března nebo října, v ryze zimních měsících je tedy z vybraných dní 100 % v přítomnosti frontálního rozhraní. Nejfrekventovanější zastoupení typu povětrnostní situace ve dnech s výraznou bleskovou aktivitou byla v zimě i v létě západní cyklonální situace (popř. jihozápadní či severozápadní). V zimě tento typ povětrnostní situace tvořil 65 % vybraných dní, v létě 41 % vybraných dní (v tabulkách výše zmíněné typy povětrnostní situace vyznačeny modře). Nejvyšší počet blesků na km² poskytuje velice hrubý náhled na typ bouře, která se nad naším územím vyskytovala. Pokud je hodnota vyšší, lze teoreticky předpokládat silnější bouři nad menším územím, pokud je nižší, zasáhla pravděpodobně blesková aktivita v menší míře větší území. Je však nutné brát v úvahu vliv objektů, které výrazně převyšují své okolí (viz Kapitolu 4.2) a které mohou stát za

vyšším specifickým úhrnem blesků, pokud se bouře vyskytne v jejich okolí. Pro den s maximem úhrnu blesků v létě nebyl zmíněný specifický úhrn blesků zdaleka nejvyšším naměřeným, lze proto usuzovat na druhý typ bouře nad naším územím. Den s maximálním úhrnem blesků v zimě vykazuje specifický úhrn blesků nejvyšší z vybraných zimních dní, nelze však s jistotou usuzovat, jak skutečná situace vypadala, protože se jedná relativně nízkou hodnotu.

Zkratky užívané v tabulkách:

SF – studená fronta

OF – okluzní fronta

TF – teplá fronta

Ap – putující anticyklona

B – brázda nad střední Evropou

Bp – brázda putující přes střední Evropu

C – cyklona nad střední Evropou

Cv – výšková cyklona

Ea – východní anticyklonální situace

Ec – východní cyklonální situace

NWc – severozápadní cyklonální situace

SWa – jihozápadní anticyklonální situace

SWc – jihozápadní cyklonální situace

Vfz – vchod frontální zóny

Wc – západní cyklonální situace

Wal – západní anticyklonální situace letního typu

Zdroj pro Tabulky 1 a 2: Český hydrometeorologický ústav (a), Český hydrometeorologický ústav (b).

Tabulka 1: Vybrané dny s výraznou bleskovou aktivitou v zimním půlroce.

Rok	Měsíc	Den	Počet blesků nad ČR	Přechody front přes Prahu	Typ Povětrnostní situace	Nejvyšší počet blesků na 1 km ²
2007	1	18	853	11TF, 21SF	Wc	5
2007	10	5	807	6SF	Vfz	4
2010	3	26	555	18SF	SWc	3
2012	10	4	515	15SF, 17SF	Ap ₁	4
2008	3	1	490	0TF, 2SF, 9SF	Wc	2
2006	10	29	444	2OF, 13SF, 21SF	Vfz	2
2006	3	31	393	1OF, 10SF	SWc	3
2002	3	21	325	žádná fronta	Vfz	3
2012	3	23	229	žádná fronta	Cv	2
2007	2	28	164	3SF	Wcs	2
2006	3	27	142	6OF	SWc	2
2002	10	26	136	2SF, 5SF	Wc	2
2006	10	1	134	1OF	SWc	2
2003	3	30	131	21SF	NWc	2
2003	12	15	123	1SF	NWc	1
2002	2	27	119	9SF	Wcs	2
2004	10	30	118	žádná fronta	SWc	2
2009	3	23	116	4TF, 7SF, 11TF, 16SF, 21SF	NWc	3
2006	10	5	113	žádná fronta	Wc	2
2003	10	5	91	žádná fronta	Bp	2
2010	3	14	61	6SF, 12TF, 22SF	NWc	2
2008	3	12	55	1TF, 3SF, 12SF	Wc	2
2007	1	1	49	5TF, 9SF, 14SF, 18SF	SWc	1
2002	10	16	46	2SF, 14TF, 21SF	SWc	2
2002	2	23	45	5SF	NWc	3
2008	11	21	45	10OF, 15SF	NWc	2
2012	3	24	45	žádná fronta	NWa	1
2004	2	8	44	10SF, 14SF	NWc	2
2002	10	19	43	8SF	C	2
2007	3	3	41	10OF	Wcs	1
2002	2	28	40	15SF	Wcs	2
2002	3	22	39	2SF, 7SF	Vfz	1
2004	10	6	36	5SF	SWa	2
2002	10	6	35	1OF, 16SF	C	1
2005	12	16	33	9TF, 12SF	NWc	2
2002	10	23	31	16SF	SWc	1
2005	10	13	31	žádná fronta	Cv	1
2009	3	27	30	žádná fronta	B	2
2004	11	19	23	7SF	Nc	1
2009	3	24	23	16SF	NWc	2

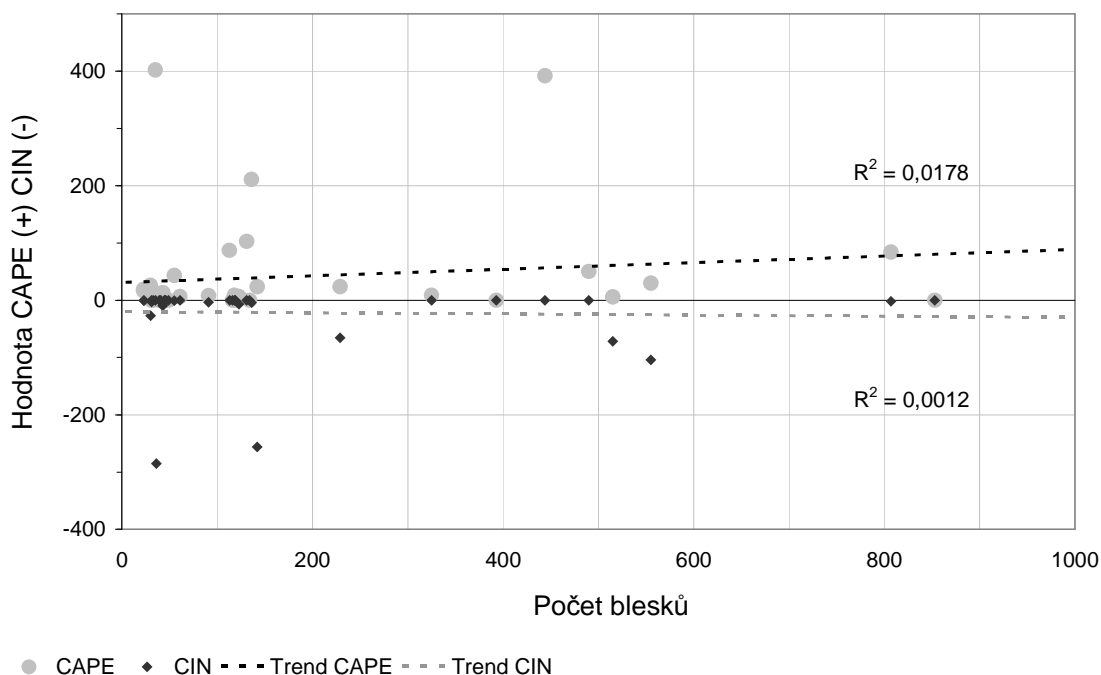
Tabulka 2: Vybrané dny s výraznou bleskovou aktivitou v letním půlroce.

Rok	Měsíc	Den	Počet blesků nad ČR	Přechody front přes Prahu	Typ povětrnostní situace	Nejvyšší počet blesků na 1km ²
2007	6	21	27175	6OF	SWc	10
2002	7	13	20654	7TF, 17SF	Ec	17
2010	7	17	18891	4SF	Bp	14
2012	7	3	18741	žádná fronta	B	11
2002	6	21	17896	žádná fronta	Bp	9
2011	7	13	17525	19OF, 23SF	Bp	10
2007	7	21	17392	žádná fronta	SWc	11
2009	7	15	16247	žádná fronta	SWc	11
2004	6	10	15973	6TF, 14SF	Wal	13
2002	7	16	15860	5TF, 10SF	Ec	7
2008	8	15	15502	žádná fronta	Bp	8
2005	7	30	14701	žádná fronta	SWc	7
2006	7	12	14022	žádná fronta	Wal	12
2007	5	22	13927	žádná fronta	Ea	9
2009	6	30	13898	žádná fronta	Ec	11
2008	7	3	13831	13SF	Bp	9
2004	6	9	13756	9TF, 12SF	Wal	7
2009	8	2	13641	11SF	Bp	9
2004	7	8	13632	19OF	SWc	7
2012	6	20	13081	žádná fronta	SWc	11
2008	6	25	12767	10TF, 16SF	Wal	7
2009	7	2	12567	žádná fronta	Ec	13
2009	7	1	12471	žádná fronta	Ec	10
2007	8	9	11967	5TF, 12SF	Ec	12
2011	7	10	11967	21OF	SWc	8
2009	7	4	11079	12OF	Wc	11
2007	8	7	10799	1SF, 18TF, 23SF	Cv	24
2009	5	26	10501	10TF, 16SF	Bp	9
2012	7	6	10246	žádná fronta	SWc	8
2003	6	5	10186	1SF	SWc	10
2006	6	27	9979	16OF	SWc	8
2012	7	5	9934	6TF, 15SF	SWc	8
2005	5	30	9897	8SF	Bp	7
2011	8	24	9618	22OF	SWc	7
2007	7	19	9482	žádná fronta	SWc	8
2012	7	2	9357	žádná fronta	B	6
2009	7	23	9315	7TF, 13SF, 15SF	SWc	12
2010	7	22	9282	7SF, 10TF, 12SF	Bp	11
2006	6	25	9013	8TF, 21SF	SWc	10

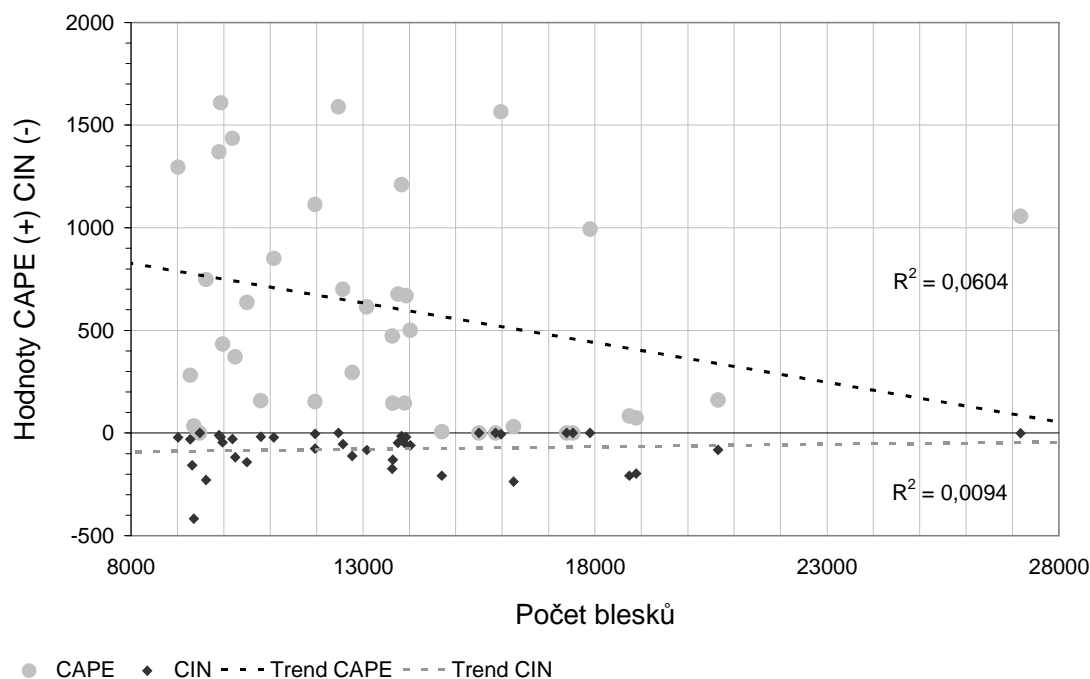
Grafy 3 a 4 znázorňují rozsah studovaných charakteristik instability ovzduší (CAPE, CIN) pro vybrané dny. Dále je zobrazena korelace těchto charakteristik s bleskovou aktivitou.

Rozsah hodnot CAPE byl ve vybraných dnech 0 – 402 J/kg pro zimní období a 0 – 1068 J/kg pro letní období. Hodnoty CIN se pohybovaly v zimním půlroce v rozmezí 0 – -285 J/kg, v letních měsících v rozsahu 0 – -417 J/kg. Pomocí hodnot denních úhrnů, které lze nalézt v Tabulkách 1 a 2 je možné z Grafů 3 a 4 odečíst hodnoty CAPE a CIN pro každý vybraný den. Poměrně zajímavý je fakt, že nejvyšší hodnoty CAPE se v obou půlrocích vyskytly u dní se slabší bleskovou aktivitou. V zimě to bylo u dne s 35 blesky, v létě u dne s 9 934 blesky.

Korelace mezi zvolenými charakteristikami instability a bleskovou aktivitou se ukázala jako velmi slabá (koeficienty determinace R^2 se pohybovaly od 0,1 % do 6 %). Tato skutečnost se dala očekávat vzhledem ke komplexnosti faktorů, které ovlivňují a mohou ovlivňovat v první řadě už tvorbu konvektivní oblačnosti a navíc pak center elektrického náboje (tyto faktory jsou v současné době stále předmětem studia).



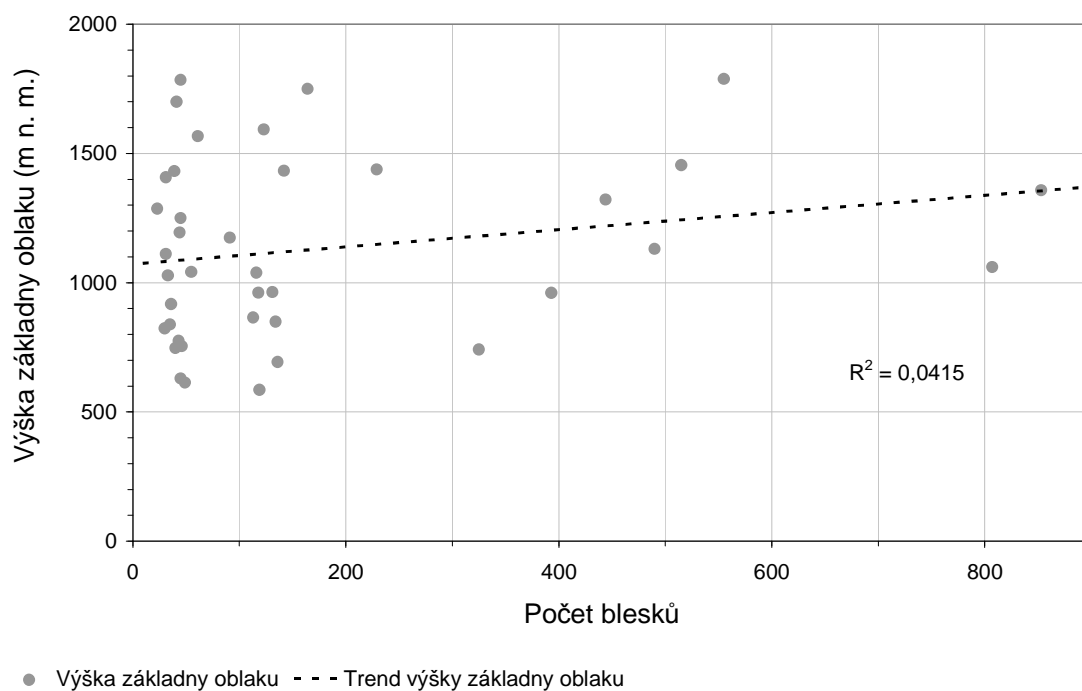
Graf 3: CAPE a CIN ve dnech s výraznou bleskovou aktivitou, zimní půlrok
Data: CELDN (poskytnuto ČHMÚ), University of Wyoming.



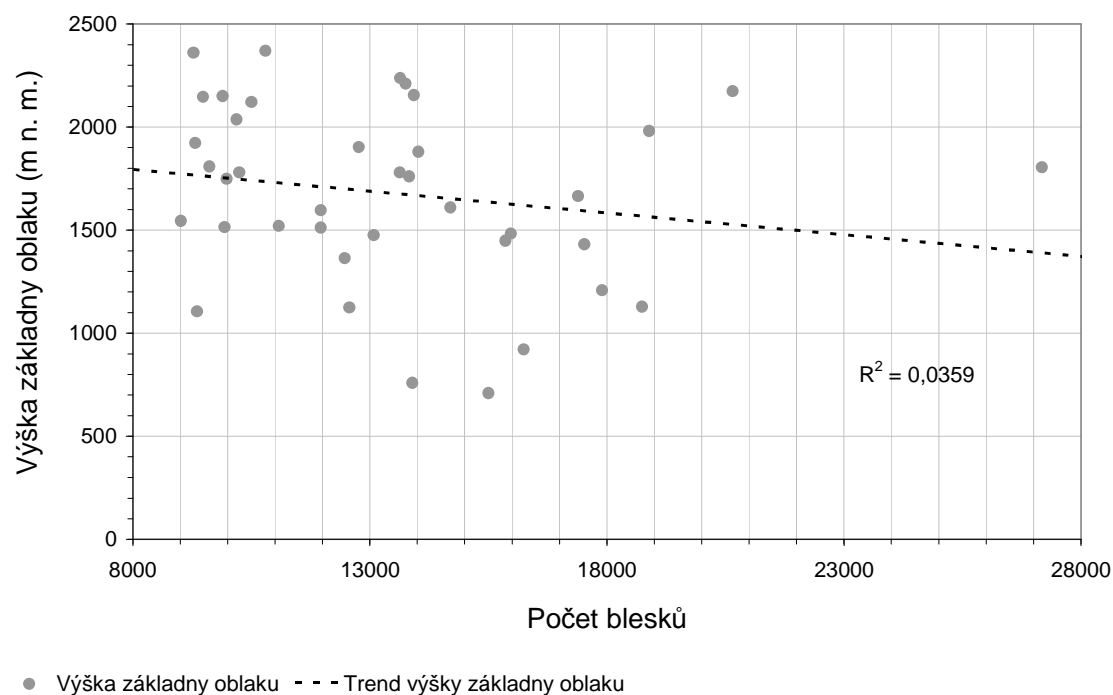
Graf 4: CAPE a CIN ve dnech s výraznou bleskovou aktivitou, letní půlrok. Data: CELDN (poskytnuto ČHMÚ), University of Wyoming.

Pohled na rozsah výšek základen oblaků ve dnech výrazné bleskové aktivity poskytují Grafy 5 a 6. Rovněž je znázorněna korelace bleskové aktivity s výškou základen oblaků nad Českou republikou. Ověřování zmíněného vztahu bylo inspirováno studií Williamse et al. (2005), která prokázala lineární korelaci mezi výškou základny oblaku a silou bleskové aktivity pro tropické oblasti.

V zimním půlroce se výšky VKH (aproximace základny oblačnosti) pohybovaly mezi 613 – 1788 m n. m., v letním půlroce bylo rozpětí 759 – 2371 m n. m. Základny oblaků ve dnech s výraznou bleskovou aktivitou v zimních měsících se rovněž pohybovaly daleko častěji v menších výškách než základny oblaků v létě. Dny s VKH níže než 1000 m n. m. tvoří v zimě 40%, v létě pouze 7,5% podíl z vybraných dní s výraznou bleskovou aktivitou, což odpovídá obecným představám o změnách teplotního zvrstvení během roku. Z Grafů 5 a 6 lze rovněž s pomocí Tabulek 1 a 2 odečíst výšky základen oblaků pro každý vybraný den. Korelace výšky VKH s bleskovou aktivitou byla zjištěna v obou obdobích velmi slabá (koeficient determinace R^2 je 3,6 % u léta a 4 % u zimy) s opačně orientovanými spojnicemi trendu.



Graf 5: Výška základny oblaku ve vybraných dnech, zimní půlrok. Data: CELDN (poskytnuto ČHMÚ), University of Wyoming.



Graf 6: Výška základny oblaku ve vybraných dnech, letní půlrok. Data: CELDN (poskytnuto ČHMÚ), University of Wyoming.

6 Diskuse výsledků a závěr

V práci byla představena data denních úhrnů blesků nad Českou republikou za období 2002-2012. Každý rok byl ve studii rozdělen na zimní a letní půlrok (viz Kapitolu 5. 1) a v těchto půlrocích byla vybrána vždy 2 % dní s nejsilnější bleskovou aktivitou. Pro tyto dny byly zkoumány zvolené meteorologické charakteristiky. Nejvýraznější vazba byla nalezena mezi dny s výraznou bleskovou aktivitou a přechodem frontální oblasti, kdy v zimě bylo frontální rozhraní přítomno v 80% procentech vybraných dní. Pokud by se do výběru v zimním půlroce nepočítaly říjnové a březnové dny, bylo by frontální rozhraní přítomno u 100 % zimních dní s výraznou bleskovou aktivitou. Pro dny v letním půlroce byl přechod fronty zaznamenán v 61,5 % případů, je však potřeba brát v úvahu, že ne ve všech dnech s frontou byla blesková aktivita v letních měsících na tuto frontu vázána. Dále byly zkoumány rozsahy hodnot CAPE, CIN a VKH pro vybrané dny a jejich vztah k bleskové aktivitě. Rozsah hodnot CAPE byl ve vybraných dnech 0 – 402 J/kg pro zimní období a 0 – 1068 J/kg pro letní období. Hodnoty CIN se pohybovaly v zimním půlroce v rozmezí 0 – -285 J/kg, v letních měsících v rozsahu 0 – -417 J/kg. Výška VKH (aproximace základny oblaku) byla v zimních měsících ve vybraných dnech 613 – 1788 m n. m., v letním půlroce bylo rozpětí 759 – 2371 m n. m. Žádný významný vztah mezi zmíněnými indexy instability/výškou VKH a bleskovou aktivitou nebyl zjištěn.

Pro výsledky práce byla do určité míry jistě limitující data, se kterými bylo pracováno. K dispozici byly denní úhrny blesků nad celou Českou republikou a maximální počet blesků pro daný den ve čtverci 1 x 1 km. Zmíněná data o specifickém úhrnu jsou primárně určena ke studiu vlivu vysílačů a jiných vyvýšených objektů na bleskovou aktivitu v jejich blízkém okolí (viz Novák a Kyznarová, 2011), nebyla tedy vhodná pro vytváření závěrů o síle či prostorové rozsáhlosti bouře, která se nad Českou republikou vyskytla. Dále data o přechodu front, výšce základny oblaků a hodnotách CAPE a CIN byla k dispozici pouze pro Prahu (měření z Ruzyně pro fronty, měření z Libuše pro ostatní hodnoty). Vzhledem k tomu, že nebyla známa přesná poloha detekovaných výbojů, nebyla data pro jiné lokality zapotřebí, je však třeba brát v úvahu, že meteorologické charakteristiky ve skutečné lokalitě blesků se od uvedených mohly mírně lišit.

Vytvořit charakteristiky ovzduší pro výskyt výrazné bleskové aktivity je obtížný úkol vzhledem k její vazbě na konvektivní oblačnost, jejíž charakteristiky výskytu nejsou dosud úplně objasněny a dalším faktorům, které mohou ovlivňovat elektrifikaci oblaku. Rozhodně se tedy jedná o zajímavý námět na další průzkum. Vzhledem k vývoji, kterým prochází systémy na detekci blesků, lze v budoucnu doufat v ještě přesnější a komplexnější pohledy na výskyt bleskové aktivity. Tento komplexnější pohled

může pomoci formování a testování nových hypotéz vlivů různých charakteristik ovzduší na bleskovou aktivitu.

Hlavní přínos práce vidím ve shrnutí současných publikovaných poznatků o bleskových výbojích a jejich současné možnosti detekce. Rovněž byla představena data detekovaných blesků nad Českou republikou, která doposud nebyla zveřejněna (naposledy klimatologie blesků v ČR pro období 2002-2008 - Novák, Kyznarová, 2011).

Literatura

ANTONESCU, Bogdan, BURCEA, Sorin (2010): *A cloud-to-ground lightning climatology for Romania*. Monthly weather review, vol. 138. (2), s. 579 – 591.

BABA, Yoshihiro, RAKOV, Vladimir A. (2009): *Present understanding of the lightning return stroke*. In BETZ, Hans Dieter, SCHUMANN, Ulrich, LAROCHE Pierre.: *Lightning: Principles, Instruments and Application: Review of Modern Lightning Research*. Springer. 641 s. ISBN 9781402090790

BEDNÁŘ, Jan (1989): *Pozoruhodné jevy v atmosféře*. Polygrafia. 240 s. ISBN 80-200-0054-2

BEDNÁŘ et al. (1993): *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. Ministerstvo životního prostředí ČR, Academia. 594 s.

BENNET, Alec, ATKINSON, Nigel, KYTE, Elizabeth (2009): *Study on Potential Synergy of Global Scale ATDnet Measurements and the MTG LI: Final Report* [online]. URL: <ftp://ftp.eumetsat.int/pub/MET/out/Bozena/Potential_synergy_of_global_scale_ATDnet_and_MTG_LI.pdf>

BLAKESLEE, Richard J., MACH, Douglas M., BATEMAN, Monte G., BAILEY, Jeffrey C. (2012): *Seasonal variations in the lightning diurnal cycle and implications for the global electric circuit*. Atmospheric Research [online]. URL: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.09.023>>

BOCCIPPIO, Dennis, J., CHRISTIAN, Hugh J. (1998): *Optical Detection of Lightning from Space* [online]. URL: <http://archive.org/details/nasa_techdoc_19990008509>

COQUILLAT, Sylvain, BOUSSATON, Marie-Pierre, BUGUET, Magalie, LAMBERT, Dominique, RIBAUD, Jean-François, BERTHELOT, Andy (2013): *Lightning ground flash patterns over Paris area between 1992 and 2003: Influence of pollution?* Atmospheric Research 122, s. 77 – 92.

DIENHOFER, Gerhard (2007): *Lightning location systems (LLS)* [online]. URL: <http://iecshop.eu/pdf/3IX_SIPDA_2007_DIN.pdf>

DOTZEK, Nikolaj, PRICE, Colin (2009): *Lightning characteristics of extreme weather events*. In BETZ, Hans Dieter, SCHUMANN, Ulrich, LAROCHE Pierre.: *Lightning: Principles, Instruments and Application: Review of Modern Lightning Research*. Springer. 641 s. ISBN 9781402090790

FEUDALE, L., MANZATO, A., MICHELLI, S. (2012): *A cloud-to-ground lightning climatology for north-eastern Italy* [online].
URL: <http://presentations.copernicus.org/EMS2012-75_presentation.pdf>

FINKE, Ulrich, GRANDELL, Jochen, STUHLMANN, Rolf (2009): *The Lightning Imager on Meteosat Third Generation* [online]. URL: <<http://weather.msfc.nasa.gov/sport/southernthunder/talks/2-Finke-stw.pdf>>

FINKE, U., KREYER, O. (2002): *Detect and Locate Lightning Events from Geostationary Lightning Observation: Report part I – Review of existing lightning location systems* [online]. URL: <http://www.eumetsat.int/groups/pps/documents/document/pdf_mtg_rep05.pdf>

FINKE, U., KREYER, O., HAUF, T. (bez vročení): *Lightning Detection and Location from Geostationary Satellite Observations* [online]. URL: <http://www.eumetsat.int/groups/pps/documents/document/pdf_mtg_em_rep26.pdf>

HALL, Beth L., BROWN, Timothy J. (2006): *Climatology of positive polarity flashes and multiplicity and their relation to natural wildfire ignition* [online]. URL: <http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Scientific%20papers/Climatology_of_positive_polarity_flashes_and_multiplicity_and_their_relation_to_natural_wildfire_ignitions.pdf>

CHRISTIAN, Hugh J., BLAKESLEE, Richard J., GOODMAN, Steven J., MACH, Douglas A., STEWART, Michael F., BUECHLER, Dennis E., KOSHAK, William J., HALL, John M., BOECK, William L., DRISCOLL, Kevin T., BOCCIPPIO, Dennis J. (1999): *The Lightning Imaging Sensor* [online]. URL: <http://lightning.nsstc.nasa.gov/bookshelf/pubs/LIS_ICAE99_Print.pdf>

KAR, S. K., LIOU Y.-A., HA, K.-J. (2009): *Aerosol effects on the enhancement of cloud-to-ground lightning over major urban areas of South Korea*. Atmospheric Research 92, s. 80 – 87.

LAL, D. M., PAWAR, S. D. (2011): *Effect of urbanization on lightning over four metropolitan cities of India*. Atmospheric Research 45, s. 191 – 196.

LEONIBUS et al. (2007a): *Final report for: Study on the Present Status and Future Capabilities of Ground-Based Lightning Location Systems* [online].

URL: <http://www.eumetsat.int/groups/pps/documents/document/pdf_mtg_rep32.pdf>

LEONIBUS et al. (2007b): *Final Report of Study on ground Based Lightning Networks et alia* [online]. URL: <http://www.eumetsat.int/groups/pps/documents/document/pdf_mtg_mmt5_10.pdf>

LOJOU, Jean-Yves, MURPHY, Martin J., HOLLE, Ronald L., DEMETRIADAS, Nicolas W. S. (2009): *Nowcasting of thunderstorms using VHF measurements*. In BETZ, Hans Dieter, SCHUMANN, Ulrich, LAROCHE Pierre.: *Lightning: Principles, Instruments and Application: Review of Modern Lightning Research*. Springer. 641 s. ISBN 9781402090790

MAREK, Lukáš: *Charakteristiky konvekčního prostředí a jejich porovnání*. Praha, 2011. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí bakalářské práce RNDr. Miloslav Müller, Ph.D., 68 s.

MacGORMAN, Donald, RUST, David (1998): *The electrical nature of storms*. Oxford University Press. 422 s. ISBN 0-19-507337-1

MUNZAR, Jan, FRANC, Marek (2003): *Winter thunderstorms in central Europe in the past and the present*. Atmospheric Research 67-68, s. 501 – 515.

NOVÁK, Petr, KYZNAROVÁ, Hana (2011): *Climatology of lightning in the Czech Republic*. Atmospheric Research 100, s. 318 – 333.

NOVÁK, Petr. *Porovnání dat ze sítí detekce blesků CELDN a LINET na území České republiky během konvekční sezóny 2010*. Meteorologické zprávy, 2012, ročník 65, č. 6, s. 161 – 167.

PRICE, Colin (2009): *Will a drier climate result in more lightning?* Atmospheric Research 91, s. 479 – 484.

RAKOV, Vladimir A. (2003): *A review of positive and bipolar lightning discharges* [online]. URL: <http://www.lightning.ece.ufl.edu/PDF/Rakov_2003.pdf>

RAKOV, Vladimir A., HUFFINES, Gary R. (2003): *Return-Stroke Multiplicity of Negative Cloud-to-Ground Lightning Flashes*. Journal of Applied Meteorology and Climatology, vol. 42, Issue 10, s. 1455 – 1462.

RAKOV, Vladimir A., UMAN, Martin A.. (2003): *Lightning: physics and effects*. Cambridge University Press. 687 s. ISBN 9780521583275

RODGER, Craig J., RUSSEL, Noah A. (bez vnočení): *Lightning Flash Multiplicity Measurements by the U. S. National Lightning Detection Network* [online]. URL: <<http://www.ursi.org/Proceedings/ProcGA02/papers/p0525.pdf>>

ŘEZÁČOVÁ, Daniela, NOVÁK, Petr, KAŠPAR, Marek, SETVÁK, Martin (2007): *Fyzika oblaků a srážek*. Praha: Academia. 574 s. ISBN 978-80-200-1505-1

SAUNDERS, C. P. R. (1993): *A review of thunderstorm electrification processes*. Journal of Applied Meteorology and Climatology, vol. 32, Issue 4, s. 642 – 655.

SCHULZ, W., DIENHOFER, G. (2003): *Bipolar flashes detected with lightning location systems and measured on an instrumented tower* [online]. URL: <http://www.aldis.at/forschung/publikationen2003.html#2003_3>

SCHULZ, W. (2011): *Performance Evaluations of the European Lightning Location System EUCLID* [online]. URL: <http://www.essl.org/ECSS/2011/programme/presentation/9_1.pdf>

STRANGEWAYS, Ian (2007): *Precipitation: Theory, measurement and Distribution*. Cambridge University Press. 290 s. ISBN 13 978-0-521-85117-6

SOULA, Serge (2009): *Lightning and precipitation*. In BETZ, Hans Dieter, SCHUMANN, Ulrich, LAROCHE Pierre.: *Lightning: Principles, Instruments and Application: Review of Modern Lightning Research*. Springer. 641 s. ISBN 9781402090790

TUOMI, Tapio J., MAKELA, Antti (2008): *Thunderstorm climate for Finland 1998-2007*. Geophysica 44 (1-2), s. 67 – 80.

VAISALA (2002): *Vaisala expands into lightning data services: Global Atmospheric Inc. joins Vaisala* [online].

URL: <http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Vaisala%20News%20Articles/VN159/VN59_Global_Atmospherics_Inc_joins_Vaisala.pdf>

VAISALA (2009): *Vaisala Global Lightning Dataset GL360* [online].

URL: <<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/gld360-datasheet-B210800EN-A-v6-lowres.pdf>>

WILLIAMS, Earl R. (1994): *Global Circuit Response to Seasonal Variations in Global Surface Air Temperature* [online]. URL: <[http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/15200493\(1994\)122%3C1917%3AGCRTSV%3E2.0.CO%3B2](http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/15200493(1994)122%3C1917%3AGCRTSV%3E2.0.CO%3B2)>

WILLIAMS, Earl R. (2005): *Lightning and climate: A review*. Atmospheric Research 76, s. 272 – 287.

WILLIAMS, E., MUSHTAK, V., ROSENFELD, D., GOODMAN, S., BOCCIPIO, D. (2005): *Thermodynamic conditions favorable to superlative thunderstorm updraft, mixed phase microphysics and lightning flash rate*. Atmospheric Research 76. s. 288 – 306.

WILLIAMS, Earl R., STANFILL, Sharon (2002): *The physical origin in the land-ocean contrast in lightning activity*. C. R. Physique 3, s. 1277 – 1292.

ZAJAC, W. A, WEAVER, J. F. (2002): *Lightning Meteorology I: An Introductory Course on Forecasting with Lightning Data* [online].

URL: <http://rammb.cira.colostate.edu/visit/zajac_weaver_2002_awips.pdf>

Internetové zdroje:

Americký meteorologický slovník: *American meteorological society: Glossary of meteorology*. [online]. [cit 2013-04-08],

URL: <<http://glossary.ametsoc.org/?id=antecedent-precipitation-index1>>

Blitzstatistik: Blitzanzahl. [online]. [cit 2013-04-21], URL: <<http://www.aldis.at/statistik/>>

Český hydrometeorologický ústav (a): *Historická data: Přechodu front přes Prahu*, [online]. [cit 2013-04-30],

URL: <http://www.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_11_Fronty_pres_Prahu&last=false>

Český hydrometeorologický ústav (b): *Historická data: Typizace povětrnostních situací*, [online]. [cit 2013-04-30], URL: <http://www.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_12_Typizace_situaci&last=false>

Finnish meteorological institute: *Thunderstorms in Finland* [online]. [cit 2013-05-13], URL: <<http://en.ilmatieteenlaitos.fi/thunderstorms-in-finland>>

HyperPhysics. [online]. [cit 2013-04-11], URL: <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/lightning2.html>>

NASA (a): *Space Research and Observations: Optical Transient Detector* [online]. [cit 2013-04-18], URL: <<http://thunder.msfc.nasa.gov/otd/>>

NASA (b): *Global Lightning Image*, [online]. [cit 2013-04-18], URL: <<http://lightning.nsstc.nasa.gov/>>

NASA (c): *Tropical Rainfall Measuring Mission* [online]. [cit 2013-04-25], URL: <http://trmm.gsfc.nasa.gov/trmm_rain/Events/all_years.3B43.color.annotated.gif>

Royal Meteorological Institute of Belgium: *Radar and lightning detection* [online]. [cit 2013-04-10], URL: <<http://radar.meteo.be/en/3337408-Lightning+detection.html>>

Statistik: Anzahl aller registrierten Blitze pro Monat und Jahr, [online]. [cit 2013-04-20], URL: <<http://www.industry.siemens.com/services/global/de/blids/service/statistik/seiten/default.aspx>>

University of Wyoming: *Upper air sounding*, [online]. [cit 2013-04-28], URL: <<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>>